العالم العربي وبحوث الفضاء:
أين نحن منها؟

د. فاروق الباز



مركز الإمارات للدراسات والبحوث الاستراتيجية
The Emirates Center for Strategic Studies and Research

سلسلة

سلسلة محاضرات الإمارات
ـ 27 ـ

العالم العربي وبحوث الفضاء:
أين نحن منها؟

د. فاروق الباز

تصدر عن



مركز الإمارات للدراسات والبحوث الاستراتيجية

ألقيت هذه المحاضرة يوم الثلاثاء الموافق 27 كانون الثاني/ يناير 1998

الطبعة الأولى 1998

توجه المراسلات إلى رئيسة التحرير على العنوان التالي:
سلسلة محاضرات الإمارات ـ مركز الإمارات للدراسات والبحوث الاستراتيجية

ص. ب: 4567
أبوظبي ـ دولة الإمارات العربية المتحدة

هاتف: 722776 - 9712+
فاكس: 769944 - 9712+

e-mail: pubdis@ecssr.ac.ae
http://www.ecssr.ac.ae

العالم العربي وبحوث الفضاء: أين نحن منها؟

مقدمة

قطع التقدم في مجال استكشاف الفضاء منذ أواخر الستينيات شوطاً يفوق مثيله في أي مجال آخر؛ فقد أدى استغلال التقنية الفضائية في حقل الاتصالات وحده إلى تغيير العمل في حياتنا اليومية. وبفضل تقنيات التقاط الصور ونقلها أصبحت المليارات من البشر يشاهدون الأحداث لحظة وقوعها والكشف عنها. إلا أن معظم الفوائد التقنية والعلمية الملموسة تظل حكراً على الدول التي يوجد لديها برامج فضائية قابلة للتطبيق.

لكي ينضم العالم العربي إلى قائمة الدول التي تستفيد من تقنية الفضاء وتضيف إليها مزيداً من التطوير؛ من الضروري أن يعمل على تحقيق ما يلي:

1. تجاوز المخاوف من الاستثمارات المالية الضخمة؛ لأنه يمكن القيام بالخطوات الأولية عبر برامج صغيرة غير مكلفة.
2. تطوير الرؤية لمظاهر التقنية الفضائية التي يمكن إنتاجها محلياً، حتى ضمن الموارد المحدودة لكل دولة.
3. التركيز على تطوير القدرة المحلية للأبحاث العلمية التطبيقية والأساسية باعتبارها مكوناً أساسياً لتوظيف العلوم والتقنية في التنمية الاقتصادية المستدامة.
4. إيجاد آلية لزرع الثقة بالنفس ولتأكيد المكاسب السياسية من أجل تشجيع التعاون الحقيقي بين الدول العربية في حقل الأبحاث الفضائية، ربما عن طريق تخصص كل دولة في مجال معين من مجالات هذا الحقل الواسع.

من السهل تحديد الهدف العلمي لبرنامج فضائي مبدئي للعالم العربي، وهو التوصل إلى فهم أفضل للصحراء وتضاريسها؛ إذ من المعروف أن العالم العربي يشتمل على أكبر حزام صحراوي في العالم (الشكل 1). ولعل من بين مجالات التقدم التي أصبحت لها ضرورة ملحّة في الوقت الحاضر تحقيق الفهم الأفضل لنشأة التضاريس الطبيعية للأراضي القاحلة وتطورها، وبشكل عام فإننا نعرف عن الصحراء أقل مما نعرفه عن أي تضاريس طبيعية أخرى على سطح الأرض؛ وذلك للأسباب التالية[1]:

1. نشأ علم الأرض (الجيولوجيا) في أوربا، وهي القارة الوحيدة التي لا تحتوي على صحراء؛ وبالتالي لم يكتب رواد هذا العلم عن التضاريس الطبيعية للأراضي القاحلة، كما أن أولئك الذين جاؤوا بعدهم ساروا على الدرب نفسه.

2. الصحراء واسعة ويصعب التجوال فيها، وبالتالي لم يغامر سوى عدد محدود من الباحثين باختراقها بسبب اتساعها وخطورة السفر فيها.

3. يسعى علماء الأرض (الجيولوجيون) وراء الصخور الصلبة في أماكنها الطبيعية عموماً؛ وذلك للحصول على عينات لدراستها في وقت لاحق. ونظراً لأن الرمال والتربة وشظايا الصخور تغطي معظم سطح الصحراء، فلا يوجد سوى القليل أمام علماء الأرض لدراسته على سطح الصحراء.

كما أنه من السهل أيضاً تحديد منهج للحصول على معلومات يمكنها أن تؤدي إلى تحقيق فهم أفضل لتضاريس الصحراء الطبيعية من خلال التصوير الفضائي. وأرى أن الصور التي يتم تصويرها من الفضاء تفيد كثيراً في دراسة الصحارى؛ وذلك للأسباب التالية:

- تخلو أجواء الصحارى في العادة من الغيوم، وبالتالي يسهل تصويرها من أعلى، وهو ما يصدق على الصحارى العربية خصوصاً، التي تشكل حزاماً واسعاً (الشكل 1).

- تغطي الصور الفضائية مناطق واسعة، وتسمح بدراسة إقليم بكامله.

- ونتيجة لندرة الغطاء النباتي، يمكن اعتبار الصور الفضائية بمنزلة خرائط للتركيب الكيميائي للرمال والتربة والصخور على سطح الصحراء[2].

ولهذه الأسباب مجتمعة، تتضمن هذه الورقة البحثية شرحاً مفصلاً لأنظمة التصوير القابلة للتطبيق، ومن خلال دراسة البيانات المستمدة من هذه النظم ومقارنتها يمكن أولاً تحقيق فهم أفضل للأرض والمياه الساحلية ومواردها في العالم العربي، وثانياً يمكن اختيار أفضل الأنظمة من أجل استغلالها في تخطيط مشروع "ديزرت سات" أي قمر الصحراء – وهو مشروع قمر صناعي للتصوير يكرس للحصول على بيانات تتعلق بتضاريس الصحراء. وتنبع الحاجة إلى مثل هذه الأقمار الصناعية من أن الأنظمة الموجودة حالياً وضعت أساساً لدراسة المناطق ذات الغطاء النباتي.

وللتأكد من مدى إمكانية تطبيق البيانات التي تم الحصول عليها من الفضاء على دراسة الصحراء العربية، نطرح الأمثلة التالية لاستخداماتها:

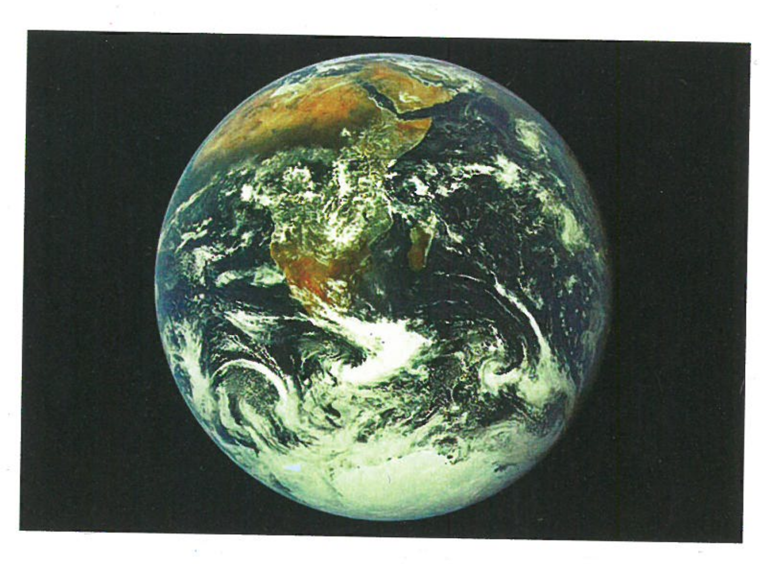
1. الملاحظات التي أدت بكاتب هذه الدراسة إلى وضع نظرية جديدة عن بحار الرمال؛ مثل الربع الخالي في شبه الجزيرة العربية، وأماكن تجمع المياه الجوفية[3].

2. تمييز مجاري الجداول والأنهار الجافة العديدة على طول المنحدرات الغربية لجبال عُمان الشمالية، وخاصة في إمارة دبي.

3. تمييز شمال غرب دولة الكويت باعتباره الدلتا القديمة لوادي الباطن.

4. تقويم أثر حرب الخليج على سطح صحراء دولة الكويت.

الشكل (1)



صورة ملونة طبيعية لسطح الأرض كما شوهد من قبل رواد الفضاء على متن المركبة الفضائية "أبولو 17" في طريق عودتها من القمر إلى الأرض. ويشاهد الحزام الصحراوي العربي بوضوح في أعلى الكرة الأرضية. ويمثل اللون الأبيض في أسفلها القارة القطبية الجنوبية المغطاة بالثلوج، وهي أكثر كثافة من السحب التي تتحرك في نمط حلزوني.

الاستشعار عن بعد باستخدام الأقمار الصناعية

يعرّف الاستشعار عن بعد ببساطة على أنه دراسة المواقع والتضاريس من مسافة بعيدة؛ مثل تصوير سطح الأرض من مركبة فضائية واستكشاف الطبقات الواقعة تحت السطح باستخدام موجات الرادار.

العالم العربي وبحوث الفضاء:
أين نحن منها؟

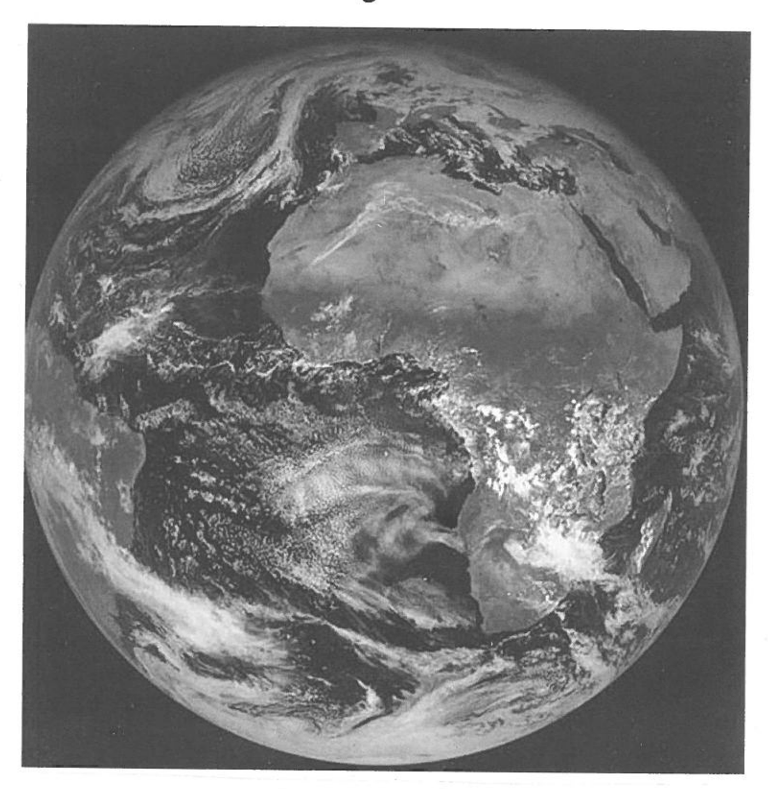
وقد عُرف الكثير عن تصوير الأرض من الفضاء من خلال الرحلات التي قامت بها المركبات الفضائية المأهولة "جيمناي" (Gemini)، و"أبولو" (Apollo)، و"سكاي لاب" (Sky Lab)، و"أبولو-سيوز" (Apollo-Soyuz)، بالإضافة إلى رحلات مكوك الفضاء(4). وتم التقاط صور هذه المهام في الغالب بآلات تصوير ركزت على التضاريس المهمة أو الظواهر البارزة. بالإضافة إلى ذلك فقد أدخل برنامج "لاندسات" غير المأهول أسلوب التصوير الرقمي من الفضاء عام 1972 (5). وفي حالة التصوير الرقمي باستخدام الأقمار الصناعية غير المأهولة، يتم نقل بيانات الصور إلى محطات استقبال أرضية لمعالجتها وتوزيعها على المتخصصين من أجل تحليلها.

للحصول على بيانات من مدار الأرض، تحلق المركبات الفضائية المأهولة وغير المأهولة في مدارات عالية ومتوسطة ومنخفضة. وقد تُركت المدارات العليا للأقمار الصناعية غير المأهولة الخاصة بالطقس؛ مثل "ميتيوسات" (الشكل 2) التابع لوكالة الفضاء الأوربية. ويتم دفع هذه الأقمار إلى ارتفاع يصل إلى 36 ألف كيلومتر فوق سطح الأرض. وعند هذا الارتفاع تعادل سرعة الأقمار الصناعية سرعة دوران الأرض حول محورها. ويطلق على هذه الأقمار اسم الأقمار الثابتة أرضياً (geostationary)؛ بمعنى أنها تظل مستقرة فوق نقطة معينة على سطح الأرض للحصول على صور متعاقبة ونقلها ساعة بساعة.

وعلى الارتفاعات المنخفضة، يتم وضع معظم أقمار المهام الفضائية المأهولة في مدارات تتراوح بين 150 كيلومتراً و300 كيلومتر فوق سطح الأرض؛ فعلى سبيل المثال، يصل الارتفاع الذي يعمل فيه مكوك الفضاء

إلى نحو 200 كيلومتر . ومن هذا الارتفاع تظهر الصور تفاصيل غاية في الدقة؛ مثل تلك الخاصة بالكاميرات ذات الإطار الكبير، التي تتميز صورها بدرجة وضوح لمساحة قدرها عشرة أمتار[6] .

الشكل (2)



صورة من القمر "ميتيوسات" للنصف الشرقي من الكرة الأرضية حيث تظهر بوضوح قارة أفريقيا . وتبدو المساحات الشاسعة من الصحارى العربية الخالية من الغطاء النباتي واضحة من خلال لونها الباهر، مقارنة بالأراضي المغطاة بالنباتات .

أما المدارات متوسطة الارتفاع، فتتراوح بين 700 و1000 كيلومتر فوق سطح الأرض، وهي المنطقة التي تضم أغلب الأقمار الصناعية غير المأهولة الخاصة بالتصوير؛ وعلى سبيل المثال، تحلق الأقمار الصناعية التي تدور فوق الدائرة القطبية والتابعة لوكالة البحار والجو الوطنية بالولايات المتحدة الأمريكية (NOAA) على ارتفاع يتراوح بين 835 و870 كيلومتراً؛ أما المدارات شبه القطبية لأقمار "لاندسات" فيصل أقصى ارتفاع لها إلى 920 كيلومتراً فوق سطح الأرض، في حين تعمل أقمار التصوير الرقمية الفرنسية "سبوت" على ارتفاع 830 كيلومتراً أو أقل. وتوفر الصور الملتقطة من هذه الارتفاعات تفاصيل أكثر مما توفّره الأقمار الصناعية عالية الارتفاع[7] .

يستعرض القسم التالي الأنظمة التي نجحت في التقاط صور فضائية مفيدة وشاملة للأرض؛ ويبدأ بالكاميرات ذات الإطار الكبير المحمولة على مكوك الفضاء، يلي ذلك شرح لأنظمة التصوير الرقمية المستخدمة في أقمار "لاندسات"؛ بما فيها جهاز الخرائط النوعية: (Thematic Mapper) وأقمار "سبوت"، وفي عملية التصوير الراداري. وفي نهاية هذا القسم ثمة عرض موجز للأنظمة، ونظم التصوير الجديدة المعدة للاستخدامات في مدار الأرض مستقبلاً .

الكاميرات ذات الإطار الكبير

تتمتع مركبات المكوك الفضائي بقدرتها على حمل آلات تصوير في مقصورة الشحن بهدف التقاط صور فائقة الجودة. وقد أطلقت أول كاميرا مصممة لرسم خرائط للأرض من الفضاء باستخدام التصوير المجسم، في تشرين الأول/ أكتوبر 1984 على متن مكوك الفضاء "تشالينجر" في المهمة

المعروفة باسم G - 41[8]. واستخدمت الكاميرا نظاماً جديداً متطوراً صمم خصيصاً من أجل التقاط صور مسحية من مدار الأرض؛ ويتألف هذا النظام من كاميرا ذات إطار كبير، بمساعدة نظام سجل الارتفاعات (ARS).

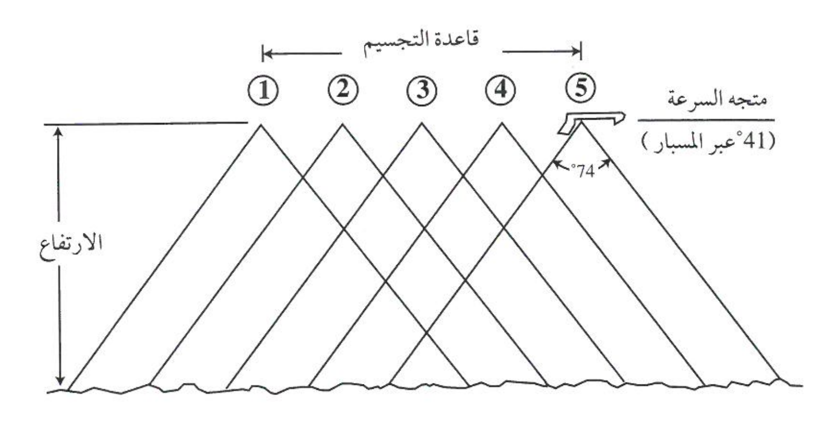
اشتق اسم الكاميرات (ذات الإطار الكبير) من حجم الصور، وهو 66 سنتيمتراً طولاً و23 سنتيمتراً عرضاً لكل منها. ولآلة التصوير هذه، التي يبلغ وزنها 450 كيلوجراماً، عدسة قطرها 305 مليمترات، بطول بؤري يبلغ 6 أضعاف قطر العدسة مع مجال رؤية يبلغ 40° x 74°. ويتم سحب الفيلم الذي يبلغ طوله 1200 متر بآلية تعديل الحركة الأمامية بمجرد سحبه فوق صفيحة مفرغة تحافظ عليه في وضع مستو دائماً[9].

يتراوح المدى الطيفي للكاميرات ذات الإطار الكبير بين 400 و900 نانومتر، وتصل دقة وضوح النظام إلى 100 خط لكل مليمتر عند نسبة تباين 1000 : 1 وإلى 88 خطاً لكل مليمتر عند نسبة تباين 2 : 1 وينتج عن هذا وضوح ضوئي - بصري في خلفية الصورة الملتقطة من ارتفاع مقداره 225 كيلومتراً في منطقة مساحتها 57 ألف كيلومتر مربع تغطيها كل صورة، بدرجة وضوح لمساحة تتراوح بين 10 و20 متراً. ويعمل تماثل شدة الإضاءة بنسبة 10٪ على تقليل حدة الوضوح عند الحواف إلى الحد الأدنى. وتسمح سرعة التقاط الصورة الواحدة، التي تتراوح بين 5 و45 ثانية للكاميرات ذات الإطار الكبير، بالعمل من ارتفاعات مختلفة للمركبة الفضائية.

يتكون سجل تدريج الفيلم من اثنتي عشرة علامة إسناد حديّة و45 شبكة خطوط، ولا يزيد التشوه الشعاعي عبر كل إطار عن 10

ميكرومترات. ويتفاوت معدل تحريك الصور بحد أقصى من التداخل نسبته 80٪ (الشكل 3)، وهو ما يوفر النسبة المطلوبة بين القاعدة/ الارتفاع للرسم الطبوجرافي بخطوط كنتورية دقة كل منها 20 متراً[10].

الشكل (3)



رسم توضيحي لعملية تشغيل الكاميرا ذات الإطار الكبير في مكوك فضائي. بالنسبة إلى التصوير ثلاثي الأبعاد (المجسم)، تسجل آلة التصوير الأشياء المنظورة من موقعين على امتداد المسار الذي تحلق فيه. ويتم ربط الصورة التي تم الحصول عليها من الموقع الأول مع تلك التي تم الحصول عليها من الموقع الثاني (تداخل بنسبة 80٪)، أو الموقع الثالث (تداخل بنسبة 60٪)، أو الموقع الرابع (تداخل بنسبة 40٪)، أو الموقع الخامس (تداخل بنسبة 20٪).

أما نظام سجل الارتفاعات فيتألف من آلتي تصوير بمحورين عاديين تلتقطان صوراً قياسها 35 مليمتراً لمجموعة من النجوم، في اللحظة نفسها التي تلتقط فيها الكاميرا ذات الإطار الكبير صوراً لسطح الأرض. ومن خلال المعرفة الدقيقة لمواقع النجوم، يمكن حساب اتجاه مركبة المكوك على وجه الدقة، وتحديداً اتجاه الكاميرات ذات الإطار الكبير على متن المكوك

في مقصورة الشحن. وتسمح بيانات الاتجاه الدقيقة، إلى جانب ميزات الكاميرات ذات الإطار الكبير، بتحديد موقع كل صورة بدرجة من الوضوح تسمح بإعداد خرائط طبوجرافية للمناطق المصورة وفق مقاييس رسم تصل إلى 1 : 50000 وهذا هو المقياس المتعارف عليه عالمياً للخرائط الأساسية[11].

أثناء مهمة تشالينجر تم التقاط 100 شريط من الصور خلال 73 دورة نهارية. وكانت بعض الصور التي التقطتها الكاميرات ذات الإطار الكبير مفيدة للغاية في الكشف عن حدوث تغير ما عند مقارنتها بالصور التي التقطت سابقاً للمناطق ذاتها[12]. وكان ما نسبته 14٪ (ما يعادل 300 صورة)، من بين 2140 صورة، غير واضح تماماً بسبب السحب. في حين كان ما نسبته 26٪ (556 صورة) تغطي السحب أجزاء منها، أما النسبة المتبقية وهي 60٪ (1284 صورة) فكانت ممتازة.

استخدمت في هذه المهمة الأولية أربعة أنواع من الأفلام؛ وهي أفلام كوداك غير الملونة 3412 و3414 التي جاءت بناء على "طلب خاص"، وأفلام الألوان الطبيعية 242، والأفلام الملونة 131 الحساسة للأشعة تحت الحمراء[13]. وبفضل هذه المرونة أصبحت الكاميرات ذات الإطار الكبير نظاماً مثالياً لالتقاط صور مجسمة ممتازة ذات درجة وضوح عالية لرسم الخرائط. وهذا صحيح فيما يتعلق تحديداً بدراسة العلاقة بين أنماط الصرف والمحددات الهيكلية لاستكشاف المياه الجوفية في الأراضي القاحلة؛ ومن الأمثلة على ذلك تقويم مصادر المياه الجوفية الكامنة في الشقوق والفوالق[14]، وتحديداً في ولاية البحر الأحمر شرقي السودان[15].

العالم العربي وبحوث الفضاء:
أين نحن منها؟

أقمار "لاندسات" الصناعية

أطلق أول الأقمار الصناعية غير المأهولة الخاصة بالتصوير من سلسلة أقمار "لاندسات" (الشكل 4) في 23 تموز/ يوليو 1972. وخلال بضعة أعوام لاحقة، أطلق قمران آخران من سلسلة الأقمار نفسها، وكانت تحمل على متنها ماسحة ضوئية متعددة الأطياف و"فيديكون" (Vidicon) يسجل ضوء الشمس المنعكس من سطح الأرض.

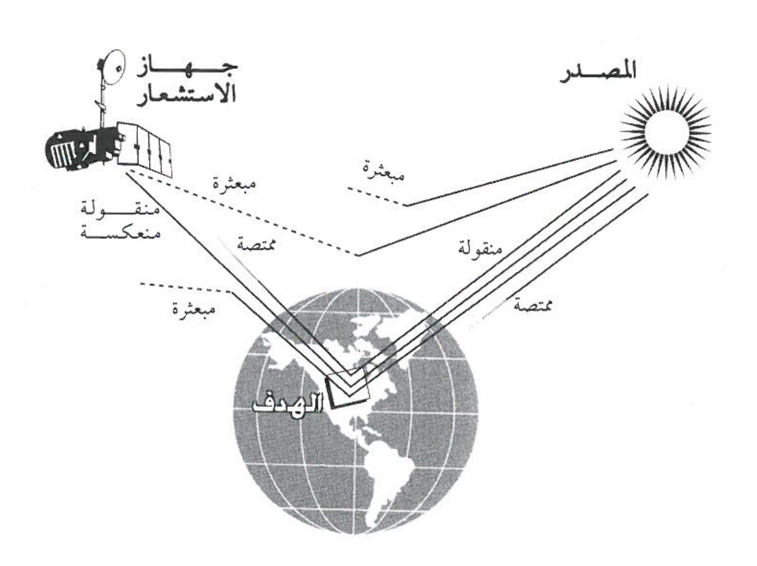
تنتج الماسحة الضوئية متعددة الأطياف الموجودة في أقمار "لاندسات" صوراً تمثل أربع موجات مختلفة من الطيف الكهرطيسي. وتغطي أقمار "لاندسات" الثلاثة الأولى مساحات بطول 185 كيلومتراً في أربعة أطياف هي: الخضراء (0.5-0.6 ميكرومتر)، والحمراء (0.6-0.7 ميكرومتر)، والموجتان المجاورتان للأشعة تحت الحمراء (0.7-0.8 ميكرومتر، و0.8-1.1 ميكرومتر). وقد سمّيت هذه الموجات بالموجات 4 و5 و6 و7 على التوالي[16].

يتم اختيار الجمع بين موجات صور الماسحات الضوئية متعددة الأطياف لكل استخدام تفسيري على حدة؛ فالموجتان 4 (الخضراء) و5 (الحمراء) تعتبران الأفضل في التحقق من المعالم الحضرية؛ كالمناطق العمرانية والطرق والمحاجر. وفي مثل هذه المناطق تعتبر الموجة 5 هي الأفضل بصفة عامة لأن قدرة الأطوال الموجية الحمراء على اختراق الغلاف الجوي أكبر من غيرها مما يوفر صورة ذات تباين أعلى. وفي المناطق ذات المياه العميقة الصافية يتحقق الاختراق الأكبر للماء عن طريق الموجة 4. وتعتبر الموجتان 4 و5 ممتازتين في إظهار انسياب تيارات المياه المحتوية على الطمي في الماء الصافي.

تعتبر الموجتان المجاورتان للأشعة تحت الحمراء 6 و7 الأفضل في تحديد تجمعات المياه. ونظراً لأن طاقة الأطوال الموجية المجاورة للأشعة تحت

الحمراء لا تخترق إلا مسافة قليلة فقط من الماء، حيث يتم امتصاصها مع انعكاس القليل منها، فإن معالم المياه السطحية تكتسب لوناً داكناً جداً في الموجتين 6 و7، وكذلك الحال بالنسبة إلى الأراضي الرطبة التي يوجد فيها مياه راكدة أو تربة عضوية رطبة، حيث بدأت بعض النباتات العشبية القليلة بالنمو، فهي أيضاً تكتسب لوناً داكناً في الموجتين 6 و7، وكذلك الشوارع الإسفلتية ومناطق التربة المكشوفة الرطبة[17]. وتعتبر الموجتان المجاورتان للأشعة تحت الحمراء - اللتان تقيسان انعكاس أشعة الشمس غير المنظورة (لأنها خارج نطاق الرؤية بعين الإنسان المجرَّدة) - مفيدتين في دراسة الزراعة والنباتات[18].

الشكل (4)



رسم تخطيطي للتسجيل بواسطة أجهزة أقمار "لاندسات" لمكونات الإشعاع الشمسي عند انتقالها وانعكاسها على سطح الأرض أو تبعثرها بواسطة التأثيرات الجوية. ويتم تسجيل مستويات السطوع للأهداف المختلفة على سطح الأرض باستخدام أجهزة الاستشعار، ثم تنقل البيانات إلى محطات الاستقبال الأرضية.

العالم العربي وبحوث الفضاء:
أين نحن منها؟

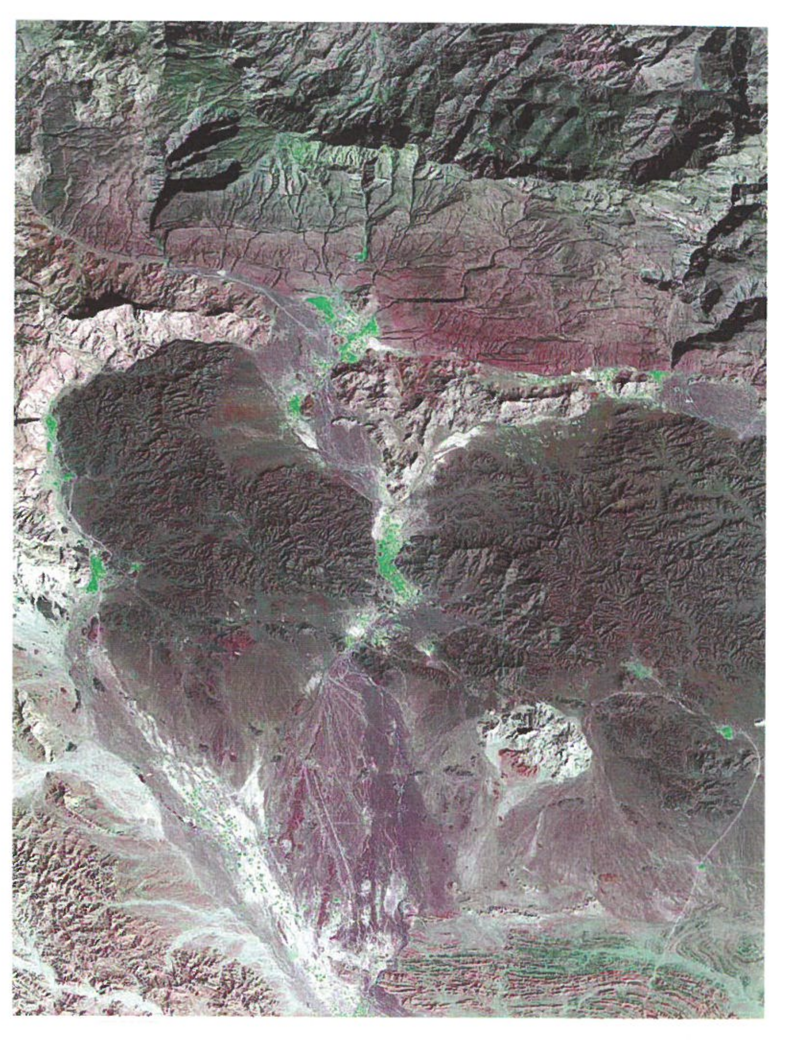
تنتج الصور زائفة الألوان عندما تجتمع هذه الأطياف معاً؛ فعلى سبيل المثال، في أكثر أنواع التجميع شيوعاً للأطياف 4 و5 و7، يعزى اللون الأحمر إلى الطيف 7 المجاور للأشعة تحت الحمراء، بينما يعزى اللونان الأخضر والأزرق إلى الطيفين 4 و5 على الترتيب. ويظهر الغطاء النباتي باللون الأحمر (الشكل 5) لأن أنسجة النبات تعتبر واحدة من أكثر المواد العاكسة في نطاق الأشعة تحت الحمراء من الطيف، وبالتالي فإنه كلما كانت النباتات أكثر صحة، كان اللون الأحمر أكثر دكنة في مثل هذه الصور.

الشكل (5)



صورة بالألوان غير الطبيعية التقطها "لاندسات" في 23 أيلول/ سبتمبر 1984، لمزارع الري الدائرية في منطقة الخرج (الدوائر الحمراء في يمين الصورة)، إلى الجنوب الشرقي من الرياض (المناطق الداكنة اللون في أعلى يسار الصورة). يبلغ عرض الصورة نحو 100 كيلومتر.

الشكل (6)



جزء من صورة جهاز الخرائط النوعية في قمر "لاندسات" (وتجمع الموجات 7 و4 و2)، وتظهر المنطقة الواقعة بين بلدتي الحمرا وبيسيه إلى الجنوب من الجبل الأخضر الواقع شمال سلطنة عُمان. وتظهر المناطق المزروعة واضحة باللون الأخضر. وتبلغ دقة وضوح الصورة 30 متراً، أما قاعدة الصورة فتبلغ نحو 40 كيلومتراً طولاً.

الشكل (7)



جزء من صورة التقطها أحد أقمار "سبوت" وتغطي المساحة نفسها التي التقطها قمر "لاندسات" في الشكل (6). وتسمح دقة وضوح صورة "سبوت"، التي تصل إلى 10 أمتار، بإبراز التفاصيل - خاصة الأودية في الكتلتين الصخريتين الملتويتين (الداكنتين) في وسط الصورة - كما يمكن تحديد الطرق بشكل أفضل في هذه الصورة.

جهاز الخرائط النوعية

تم تحميل جهاز الخرائط النوعية على قمري "لاندسات 4" و"لاندسات 5" بحيث يتضمن سبع موجات طيفية تغطي أشعة الطيف المنظورة، والمجاورة للأشعة تحت الحمراء، والأشعة تحت الحمراء الحرارية. وقد تم تصميم الجهاز للوفاء بمتطلبات الأداء الأكثر إلحاحاً من خلال التجربة التي اكتسبت في عملية ماسحة "لاندسات" الضوئية متعددة الأطياف. ويبلغ حجم خلايا جهاز الخرائط النوعية – أي وحدة الصورة أو الدقة التعبيرية – 30 متراً مربعاً، مقارنة مع 80 متراً مربعاً للماسحة الضوئية متعددة الأطياف. وبهذه الدرجة من دقة الوضوح يمكن أن يتم تمييز المزارع الصغيرة في الصحراء بدقة.

والموجات الطيفية السبع لجهاز الخرائط النوعية المحمول على قمر "لاندسات"، كما لخصها ليليساند وكيفر؛ هي:

1. الزرقاء (0.45ـ0.52 ميكرون): وقد صممت لاختراق التجمعات المائية، وتفيد في رسم الخرائط المائية الساحلية. وهي مفيدة أيضاً للتمييز بين التربة والنباتات، ورسم خرائط الغابات، وتحديد المعالم الحضرية.

2. الخضراء (0.52ـ0.60 ميكرون): وقد صممت لقياس معامل ذروة الانعكاس الضوئي الأخضر للنباتات؛ لتمييز النباتات وتقدير مدى صحتها، وهي مفيدة أيضاً في تحديد المعالم الحضرية.

3. الحمراء (0.63ـ0.69 ميكرون): وقد صممت للإحساس بمنطقة امتصاص اليَخضور (الكلوروفيل) في النبات للمساعدة في تمييز أنواعها، وهي مفيدة أيضاً في تحديد المعالم الحضرية.

العالم العربي وبحوث الفضاء:
أين نحن منها؟

4. المجاورة للأشعة تحت الحمراء (0.76ـ0.90 ميكرون): مفيدة في تحديد أنواع الغطاء النباتي، وصحته، ومحتوى الكتلة الحيوية فيه، وفي رسم تجمعات المياه، وفي تميز درجة رطوبة التربة.

5. تحت الحمراء الوسطى (1.55ـ1.75 ميكرون): تدل على محتوى رطوبة النباتات والتربة.

6. تحت الحمراء الحرارية (10.4ـ12.5 ميكرون): مفيدة في تحليل إجهاد النباتات، وتمييز رطوبة التربة، ورسم الخرائط الحرارية.

7. تحت الحمراء الوسطى (2.08ـ2.35 ميكرون): مفيدة في تمييز أنواع المعادن والصخور. وهي حساسة تجاه محتوى رطوبة الغطاء النباتي أيضاً (الشكل 6).

تستدعي التطبيقات الجيولوجية أساساً استخدام الموجة الأخيرة، خصوصاً في تحديد أنواع الصخور من خلال خصائصها الكيميائية[19].

برنامج "سبوت"

قررت الحكومة الفرنسية في أوائل عام 1978 البدء في برنامج "سبوت" (SPOT). وبعد ذلك بوقت قصير وافقت كل من السويد والنرويج على المشاركة في البرنامج بهدف إطلاق أول قمر صناعي ضمن سلسلة الأقمار الصناعية المخصصة لدراسة الأرض. ومنذ بداية عمله صمم برنامج "سبوت" على اعتبار أنه برنامج تجاري يؤدي وظائف تشغيلية وليست تجريبية كما هي حال برنامج "لاندسات".

تم تطوير برنامج "سبوت" – الذي خطط له وصممه المركز الوطني الفرنسي لأبحاث الفضاء – ليصبح برنامجاً دولياً واسع النطاق ذا محطات

استقبال أرضية ومنافذ لنشر البيانات في أكثر من 30 دولة. وأطلق أول قمر في البرنامج من قاعدة إطلاق الصواريخ "كورو" في غيانا الفرنسية في 21 شباط/ فبراير 1986 على متن صاروخ من نوع "أريان". وكان هذا القمر الصناعي بداية عهد جديد في الاستشعار عن بعد؛ وذلك لأنه كان أول نظام أقمار صناعية لدراسة موارد الأرض يتضمن مجس الصفوف الطولية وهو مؤهل لمسح مناطق واسعة. وكان أيضاً أول نظام تتوافر فيه العدسات التي يمكن توجيهها بسهولة لتتيح تصوير مناطق خارج مدى الرؤية الأفقية، كما توفّر إمكانية التصوير المجسم لكامل المنظر بتغطية المنطقة نفسها من مسارين مختلفين للقمر الصناعي[20].

أحيل القمر "سبوت-1" على التقاعد عن الخدمة في 31 كانون الأول/ ديسمبر 1990، وكان القمر "سبوت-2" قد أطلق في 21 كانون الثاني/ يناير 1990، وأطلق القمر "سبوت-3" في 25 أيلول/ سبتمبر 1993، وهي تعمل جميعها في مدارات متشابهة وبأنظمة استشعار متماثلة. أما القمر "سبوت-4" فمن المقرر أن يطلق في عام 1998[21].

يتألف نظام الاستشعار في الأقمار الثلاثة الأولى من أقمار "سبوت" من نظامين متماثلين من أنظمة التصوير المرئي ذات الوضوح العالي، ومسجلات أشرطة مغناطيسية مساعدة. وصمم كل جهاز استشعار من الأجهزة المرئية ذات الوضوح العالي ليعمل في أي من الحالتين التاليتين: (1) الحالة البانكروماتية (الأبيض والأسود) ذات الوضوح الذي يبلغ 10 أمتار (الشكل 7) على مدى 0.51-0.73 ميكرومتر؛ أو (2) الحالة متعددة الأطياف (تحت الحمراء الملونة) ذات الوضوح البالغ 20 متراً على مدى 0.50-0.59، 0.61-0.68، و0.79-0.89 ميكرومتر.

يستعمل جهاز التصوير المرئي عالي الوضوح أسلوب استشعار على طول المسار للتصوير دون استخدام مرآة ماسحة كما تفعل الأنظمة التي تعمل بعرض المسار؛ فهو بالأحرى يستخدم الصف الطولي للأجهزة جنباً إلى جنب على طول الخط المتعامد مع المسار الذي يسلكه القمر الصناعي في مداره. ويتم الحصول على خط بيانات الصورة عن طريق أخذ عينة استجابة أجهزة الكشف على امتداد المصفوفة، كما يتم الحصول على الخطوط المتعاقبة للتغطية عن طريق تكرار عملية أخذ عينة على طول المصفوفة أثناء حركة القمر الصناعي فوق الأرض.

يحتوي جهاز التصوير المرئي عالي الوضوح على أربع مصفوفات فرعية. وتستخدم المصفوفة الفرعية المكونة من 6000 عنصر في الحالة البانكروماتية لتسجيل البيانات بدقة وضوح 10 أمتار. فيما يتم توظيف المصفوفات الفرعية المكونة من 3000 عنصر في الحالة متعددة الأطياف بدقة وضوح تصل إلى 20 متراً. ويتم تشفير البيانات بصورة فاعلة ضمن سلسلة رقمية مؤلفة من 256 رقماً، ثم تبث بمعدل 25 مليون جزيء (bit) في الثانية. ويبلغ مجال الرؤية لكل أداة 4.13°، بينما يبلغ عرض الرقعة الأرضية لكل منظر يلتقطه جهاز التصوير المرئي عالي الوضوح 60 كيلومتراً في ظروف الرؤية الأفقية[22].

لعل أحد المظاهر المميزة للصور الرقمية هو إمكانية دمج البيانات التي يتم الحصول عليها من أنظمة مختلفة باستخدام وسائل المقارنة بالحاسوب؛ فعلى سبيل المثال، لدمج صورة لمشهد التقطت من أحد أقمار "سبوت" مع صورة للمشهد نفسه التقطها "جهاز الخرائط النوعية" على متن أحد أقمار "لاندسات"، يجب أولاً "إعادة تشكيل" صور "لاندسات" بدقة وضوح تعادل تلك المميزة لأقمار "سبوت"؛ لينجم عن هذا صورة مركبة

من صورة "لاندسات" ذات درجة الوضوح الطيفية الكبيرة وصورة "سبوت" ذات الدقة التعبيرية الكبرى. وقد تم القيام بمثل هذا الأمر للعديد من المناطق الصحراوية، ونجم عنه تطور ساعد في تحسين تفسير البيانات.

بيانات الرادار

يمثل الرادار نوعاً نشطاً من أنواع الاستشعار عن بعد، حيث توفر أنظمته مصدراً للطاقة الكهرطيسية من أجل "إضاءة" مساحة من الأرض. ويتم استقبال الطاقة المرتدة من هذه المساحة بواسطة الجهاز نفسه، ثم تسجل على هيئة صور. ويمكن أن تعمل أشعة الرادار بشكل مستقل عن ظروف الإضاءة، ويمكنها اختراق غطاء السحب، وهو ما يعتبر ذا فائدة عظيمة في المناطق الجبلية. ومن الميزات الخاصة للرادار قدرته على إضاءة مساحة من الأرض من أفضل موقع ممكن لتعزيز صورة تضاريس المنطقة[23].

يستخدم التصوير بواسطة الرادار المحمول جواً على نطاق واسع للكشف عن تضاريس السطح في الغابات الكثيفة وفي المناطق القطبية. ولم يكن هذا التصوير مناسباً للاستخدام في الأقمار الصناعية حتى وقت قريب؛ لسببين: أولاً لأن احتياجاته من الطاقة عالية جداً. وثانياً، بالنسبة لأنظمة المسح الحقيقية، تكون درجة وضوح التضاريس على مدى الميل الطويل للمركبة الفضائية ضعيفة جداً. ولكن تطوير أنظمة الطاقة ووسائل رادارية جديدة ساعد على تجاوز المشكلة الأولى، فيما عالجت أنظمة المسح التجميعي لموجات الرادار المشكلة الثانية[24]. وفيما يلي مناقشة لبيانات كل من نظام رادار المسح التجميعي (SAR) الخاص بالقمر الصناعي الياباني (JERS-1)، المخصص لدراسة الموارد الأرضية، ورادار التصوير الخاص بمكوك الفضاء.

القمر الصناعي الياباني لدراسة موارد الأرض (JERS)

أطلق القمر الصناعي (JERS-1)، الذي طوّرته وكالة التنمية الفضائية القومية اليابانية، في 11 شباط/ فبراير 1992. ويشمل هذا القمر جهازين بصريين ورادار مسح تركيبي بموجة L (23 سنتيمتراً) يعمل باستقطاب أفقي. ويتمتع هذا النظام الراداري بدرجة وضوح تصل إلى 18 متراً، ويغطي مساحة عرضها 75 كيلومتراً بزاوية رؤية مقدارها 35°. ويدور هذا القمر الصناعي في مدار متزامن مع الشمس بزاوية ميل مقدارها 98.5°، وعلى ارتفاع يصل إلى 568 كيلومتراً. وتستغرق عملية اكتمال دورته في هذا المدار 44 يوماً، ويبلغ عمره الافتراضي قرابة العامين.

يتضمن الجهاز البصري المحمول على القمر الصناعي الياباني (JERS-1) سبع موجات طيفية (تتراوح بين 0.52 و2.40 ميكرومتر)، بما في ذلك الموجة المجاورة للأشعة تحت الحمراء التي يمكنها الرؤية بزاوية أمامية مقدارها 15.3° من "النادر" - أي النقطة التي تقع تحت القمر الصناعي مباشرة، لتوفر صورة مجسمة على طول المسار. وتستخدم معدات المسح الأمامية والسفلية أجهزة متقارنة الشحنة الكهربائية، ويمكنها تصوير مسافة طولها 75 كيلومتراً، وبدقة وضوح تصل إلى 18 متراً[25].

جهاز رادار مكوك الفضاء (SIR)

في تشرين الثاني/ نوفمبر 1981 التقط رادار التصوير المحمول على المكوك الفضائي (SIR-A) صوراً لتضاريس أرضية مختلفة، بما فيها الصدوع والطيات والصخور الناتئة والكثبان الرملية[26]. ومن المعالم البارزة التي تم الكشف عنها لأول مرة قنوات لأنهار ومجاري أودية قديمة مدفونة تحت الرمال (الشكل 8) شرقي الصحراء الكبرى[27]. أما الجهاز

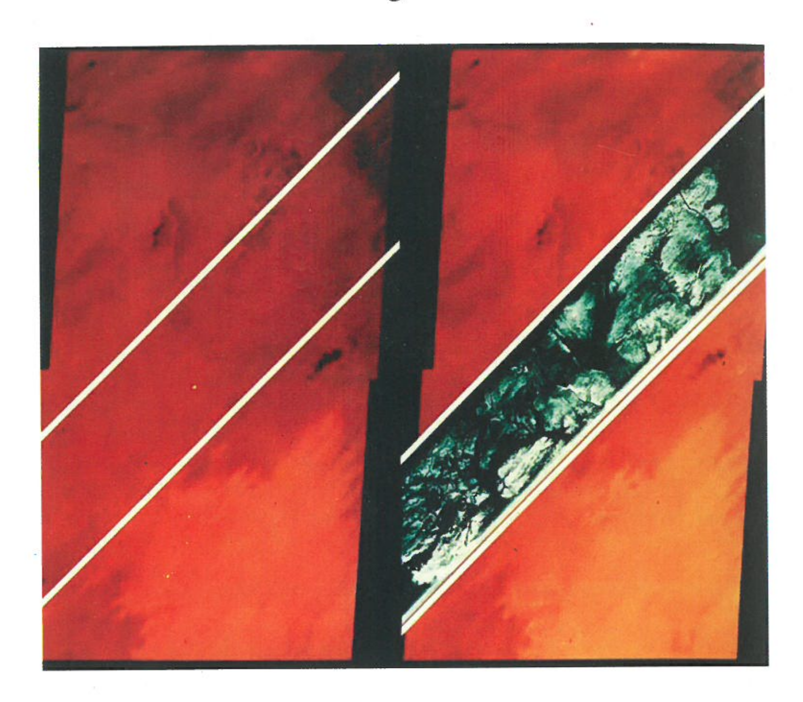
الذي تبعه فهو رادار التصوير (SIR-B) الذي تم إطلاقه على متن مكوك الفضاء عام 1984، إلا أن بياناته كانت سيئة المستوى بسبب مشكلات فنية. وكان أفضل البيانات ما تم الحصول عليه من رادار (SIR-C)، وهو جهاز محسن للغاية أرسل إلى الفضاء على متن مكوك الفضاء في نيسان/ إبريل وتشرين الأول/ أكتوبر 1994.

تعتبر المهمة التي أعيدت تسميتها باسم رادار التصوير الفضائي/ رادار المسح التجميعي ذي الموجة X، والمعروفة اختصاراً باسم SIR-C/X-SAR، جزءاً من برنامج وكالة الفضاء الأمريكية (NASA) المعروف باسم "مهمة إلى كوكب الأرض" الذي بدأ عام 1991. وقد تم تصميم معدات SIR-C/X-SAR من أجل تحسين فهم بيئة الأرض؛ بما في ذلك دورة الكربون، والدورة المائية، والعمليات الجيولوجية والمناخية، وحركة التيارات البحرية، وتفاعلات الهواء/ البحر. وتوفر بيانات SIR-C/X-SAR متعددة الترددات، المتممة بالمعلومات التي يتم الحصول عليها من الطائرات والدراسات الأرضية، رؤى أوضح لما يحصل من تغيرات في بيئة الأرض، وكذلك تلك الناتجة عن نشاط الإنسان. وقد تم تقويم هذه البيانات في دراسة تضاريس شبه الجزيرة العربية، كما يرد في نهاية هذا البحث.

تستطيع موجات رادار SIR-C/X-SAR، في ظل ظروف معينة، أن تخترق الغطاء النباتي، والجليد، والرمال الجافة. ولأن بإمكان النظام الحصول على البيانات ليلاً ونهاراً؛ فإنه يسمح بإجراء دراسة مفصلة لسطح الأرض بأكملها، بما في ذلك القياسات الجديدة للكتلة الحيوية (المواد النباتية السطحية) ورطوبة التربة.

العالم العربي وبحوث الفضاء:
أين نحن منها؟

الشكل (8)



إلى اليسار، جزء من شرقي الصحراء الكبرى كما يظهر في صورتين التقطتهما ماسحة ضوئية متعددة الأطياف على متن أحد أقمار "لاندسات" (يبلغ عرض الصورة المركبة نحو 185 كيلومتراً)؛ ويشير الخطان الأبيضان إلى المنطقة التي غطاها جهاز الرادار. وإلى اليمين، المنطقة ذاتها مع معلومات رادار التصوير (SIR-A) الذي اخترقت موجاته الرمال السطحية لكي تظهر مجاري الأنهار القديمة المدفونة تحت الرمال.

بصفته تمهيداً لمهام الأقمار الصناعية الجوالة التي يخطط لها في نهاية العقد الحالي، يعتبر SIR-C/X-SAR أول رادار فضائي يحصل على بيانات عن طريق الاستقطابات والأطوال الموجية المتعددة في آن واحد. وتم تصنيع (SIR-C) من قبل مختبر الدفع النفاث الذي يدير المشروع لحساب وكالة الفضاء الأمريكية. أما (X-SAR) فقد تم تصنيعه من قبل شركتي "دورنير"

(Dornier) و "أليتيا سباتزيو" (Alenia Spazio) لصالح وكالة الفضاء الألمانية (DARA) ووكالة الفضاء الإيطالية (ASI).

يستخدم SIR-C/X-SAR ثلاث موجات ميكروويفية؛ هي: موجة L (24 سنتيمتراً)، وموجة C (6 سنتيمترات)، وموجة X (3 سنتيمترات). وتسجل الموجات المستقطبة عمودياً وأفقياً على قناتين منفصلتين، مما يتيح مزج الترددات المتعددة بحد أقصى قدره 4 مجموعات بيانية مختلفة. وتؤدي هذه البيانات لمقياس الاستقطاب الراداري إلى الحصول على معلومات حول تضاريس سطح الأرض أكثر من الأنظمة السابقة التي وفّرت بيانات عن لمعان الصور[28]، والقدرة على توليد صور ملونة عن طريق جمع البيانات من الاستقطابات المختلفة، والتي لها أهمية كبرى في بعض التطبيقات.

أنظمة تشغيلية جديدة

القمر الصناعي الهندي لدراسة الموارد الأرضية (IRS-IC)

أطلقت وكالة الفضاء الهندية القمر الصناعي (IRS-1C) المخصص لدراسة الموارد الطبيعية في 28 كانون الأول/ ديسمبر 1995. ويمتلك هذا القمر قدرات متعددة الأطياف تشبه "جهاز الخرائط النوعية" الخاص بأقمار "لاندسات"، وموجة بانكروماتية بالغة الوضوح، وقدرات تجسيمية لتوليد بيانات الارتفاع الرقمية. وفي نيسان/ إبريل 1996، أصبحت بياناته متوافرة للمستخدمين من خلال مؤسسة "إيوسات" بمدينة لانهام في ميريلاند، أو مباشرة من وكالة الفضاء الهندية.

القمر الصناعي لدراسة موارد الأرض (ERS-2)

أطلقت وكالة الفضاء الأوربية قمراً صناعياً ثانياً لدراسة موارد الأرض (ERS-2) في 21 نيسان/ إبريل 1995، وهو مماثل تماماً للقمر الأول ERS-1، ويحمل راداراً من نوع رادار المسح التجميعي أحادي الاستقطاب ويعمل بموجة C. ويتبع هذا القمر في مداره القمر (ERS-1) ليتيح رصد التداخل اليومي المتكرر. وتم التخطيط لهذه المهمة المسماة "مهمة تاندم" لإنتاج البيانات العلمية للمعالجة التداخلية[29].

"رادارسات" (Radarsat)

في 4 تشرين الثاني/ نوفمبر 1995، أطلقت وكالة الفضاء الكندية ووكالة الفضاء الأمريكية القمر "رادارسات" وهو رادار مسح تجميعي، أحادي الاستقطاب ويعمل بالموجة C. ويوفر هذا القمر مجموعة منوعة من أساليب المراقبة لمساحات متنوعة، يتراوح عرضها بين 35 و500 كيلومتر، ويقابلها درجة دقة تعبيرية تتراوح بين 10 و100 كيلومتر. والمسح البالغ 500 كيلومتر يوفِّر تكرار تغطية مساحة معينة من الأرض على مدى يومين إلى ثلاثة أيام. وهذه الخاصية هي الأولى من نوعها في أنظمة الرادار الفضائي[30].

أنظمة التصوير المستقبلية

مر برنامج مراقبة الأرض لوكالة الفضاء الأمريكية بمراجعة شاملة عام 1995، وعلى أي حال، تظل أجهزة التصوير الأرضية الرئيسية (أستير (ASTER)، وموديز (MODIS)، وجهاز الخرائط النوعية في "لاندسات-7") كما هي، وجاهزة للإطلاق وفق الجدول الزمني في العام 1998. ونتيجة

للشراكة بين وكالة الفضاء الأمريكية وقطاع الصناعة، بدأت عام 1996 عملية تطوير نظامي الاستشعار الرائدين "لويس" و"كلارك" (Lewis and Clark) اللذين يتمتعان بصغر حجمهما وبدقة درجة الوضوح وقلة التكلفة. ويتميز نظام "لويس" بدرجة وضوح طيفية عالية، وبوجود مقياس تصوير طيفي ذي 384 قناة؛ أما نظام "كلارك" فهو مصوِّر بانكروماتي ذو درجة وضوح مكانية عالية.

وعلى أي حال، فإن أكثر تطوير جديد مثير هو التطوير التنافسي من قبل القطاع الخاص لسلسلة من أقمار تصوير الأرض. وبدءاً من عام 1999 سوف يتم إطلاق أول هذه الأنظمة المطورة تجارياً من قبل ثلاث شركات؛ هي "مراقبة الأرض" (Earth-Watch)، و"التصوير الفضائي" (Space Imaging)، و"العلوم المدارية" (Orbital Sciences). وسوف تنتج المستشعرات البصرية الكهربائية صوراً بانكروماتية بدقة وضوح تتراوح بين متر و3 أمتار، وصوراً متعددة الأطياف بدقة وضوح تتراوح بين 4 أمتار و15 متراً[31].

إن لدقة الوضوح في هذه الأنظمة البالغة متراً واحداً إمكانية إحداث ثورة في مناهج أنظمة المعلومات الجغرافية جراء إدخال الصور الرقمية التي ستكون قابلة للاستخدام في أنشطة مثل تخطيط المدن وحصر أعداد التجمعات البشرية[32]. وتتميز هذه الأنظمة كذلك بقدرتها المرنة على توجيه أجهزة التصوير، وقصر الفترة الفاصلة بين الحصول على المعلومة وتوزيعها على المستخدمين[33].

الربط بين أنظمة المعلومات الجغرافية

صممت أنظمة المعلومات الجغرافية من أجل تسهيل التعامل مع الكم الكبير جداً من المعلومات الجغرافية؛ مثل تلك التي تستخلص من الصور الفضائية. ويتحقق هذا عن طريق إضافة أو مسح أو تسجيل البيانات على شكل طبقات في الخريطة الرقمية التي يمكن دمجها من أجل عرض المعلومات المطلوبة بطريقة مناسبة بصرياً، دون إغراق مفسر الصور بالتفاصيل.

ومن خلال هذا المنهج المعتمد على الحاسوب يمكن التوصل إلى استنتاجات، بناءً على معلومات منتقاة من قاعدة بيانات ضخمة. وتستخدم البرمجيات؛ مثل برنامج "جراس" (GRASS)، لتجميع النتائج التي تم الحصول عليها من تفسير صور الأقمار الصناعية، متيحة دراسة المعالم المتعددة الجيولوجية والجيومورفية (الخاصة بتضاريس الأرض) في آن واحد، بدلاً من تناولها بالتعاقب واحداً تلو الآخر. ويتيح هذا العمل التفسير الواقعي لما تظهره الصور؛ فعلى سبيل المثال، تم تكوين خريطة صرف المياه لكل الأودية في شبه جزيرة سيناء من صور "جهاز الخرائط النوعية" باستخدام برنامج "جراس" (الشكل 9).

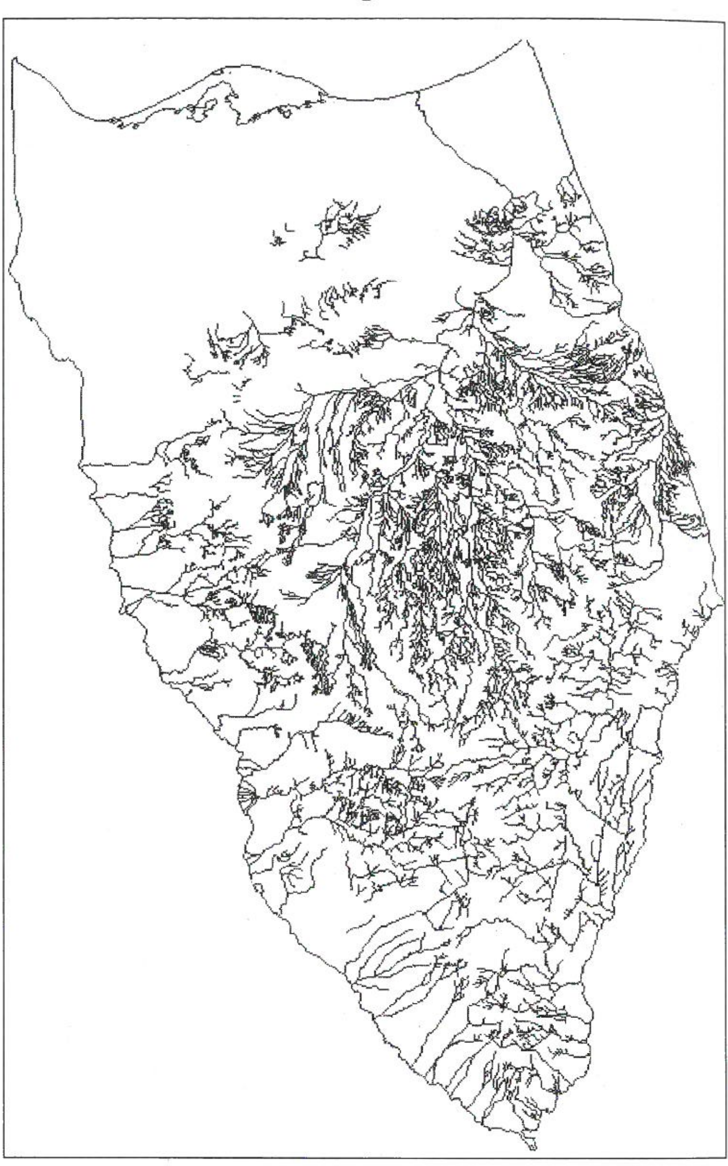
توفر أنظمة المعلومات الجغرافية وسيلة لجمع وتحليل البيانات التي يتم الحصول عليها من مصادر ومقاييس وتواريخ مختلفة؛ ومثال ذلك الربط بين معالم طبقات وحدات السطح في صور الأقمار الصناعية، والبيانات التي تم الحصول عليها من خلال الدراسة الميدانية. وعلى أي حال، فإن تكامل البيانات المتعددة لتكوين قاعدة بيانات علمية يستلزم وجود مرجعية جغرافية إلى جانب تنظيم البيانات.

تحتاج البيانات التي استخلصت من مصادر متعددة؛ مثل صور الأقمار الصناعية والخرائط المرسومة والعمل الميداني، إلى تحقيقها جغرافياً بالرجوع إلى تحديد لإحداثيات الخرائط. ويستخدم نظام إحداثيات ميركاتور المستعرض العالمي في العادة؛ لأنه يعتمد على القياسات بالأمتار أو الأقدام. ويعتبر التحقيق الجغرافي للبيانات خطوة أساسية في تطبيقات نظام المعلومات الجغرافية؛ لأنها تضمن أن تتسق المعلومات في مستوى مرجعي عام عند المزج بينها.

عندما تصبح البيانات موضوعة في الصيغة الصحيحة وتسجل على مسقط الخريطة نفسها، يتم تنظيمها في عدة مجموعات خرائطية وفقاً لمواقع جغرافية معينة (مثل مواقع الاختبار أو أحواض الصرف)، أو يتم ربطها بنوع محدد من البيانات (مثل نواتج معالجة الصور، وبيانات تحليل الاتجاهات). وتتزايد أهمية عملية تنظيم البيانات مع زيادة حجم قاعدة البيانات وتنوعها. ويساعد تنظيم مستويات المعلومات المختلفة على شكل مجموعات خرائطية في تحديد نوع البيانات المطلوبة لتحليل معيّن، وبالتالي تشكل مكوناً رئيسياً في مرحلة جمع البيانات. وقد تجمع البيانات المكانية وبيانات الجداول في عدد لا نهائي من المجموعات الخرائطية.

تستخدم أساليب أنظمة المعلومات الجغرافية لتحديد العلاقات بين أنماط السطح المتعددة وعلم خصائص الصخور، وكذلك لربط تلك الأنماط بما حصل من تغيير في المنطقة؛ فعلى سبيل المثال، يتم تحليل الدلالات المتعلقة بالمياه الجوفية لتضاريس منطقة معينة بناء على نموذج نظري لتدفق المياه الجوفية في صخور القاعدة. ويتم عمل ذلك من أجل التنبؤ بمواقع الينابيع المحتملة؛ كما تم في شمال شبه جزيرة سيناء[34].

الشكل (9)



صورة لأودية صرف المياه في شبه جزيرة سيناء كما تم تكوينها باستخدام مناهج أنظمة المعلومات الجغرافية. ومثل هذه الأنماط يمكن مطابقتها مع خرائط للشقوق والفوالق، أو خرائط جيولوجية، أو خرائط لأنواع التربة؛ لربط المعلومات التي يتم الحصول عليها من مصادر مختلفة.

ولإنجاز هذه المهمة تستخدم صور الأقمار الصناعية عالية الوضوح لتحديد اتجاهات الطبقات التكتونية الرئيسية وأنواعها، والوحدات الصخرية، ومعالم أحواض صرف المياه. وبناء على هذه المعلومات يتم إعداد خرائط كثافة الشقوق في الصخور ومياه الصرف لكي تسمح بالفصل بين المناطق التي تتركز فيها قنوات الصرف وسماتها (تركيزاً عالياً أو متوسطاً أو منخفضاً). وتستخدم خرائط صرف المياه كأساس لإجراء تحليل كمي ونوعي لأحواض الصرف باستخدام أدوات تحليل أنظمة المعلومات الجغرافية (الشكل 9). كما يتم الحصول على تقارير بشأن الملامح؛ مثل طول مسافة الصرف لكل حوض تصريف أو لكل رقم في ترتيب المجرى من برنامج "جراس"، وتستخدم هذه التقارير لتحليل العلاقات مع الملامح الجيولوجية المختلفة.

ويمكن للعلاقات بين الفوالق والشقوق كما تم مسحها باستخدام صور الأقمار الصناعية وبين أنظمة الكشف عن طبقات تحت سطح الأرض أن تساعد أيضاً على تحديد طبيعة وخصائص مجموعة الشقوق وإمكانية احتفاظها بمياه جوفية، وكذلك على تحديد العلاقات بين مجموعات بيانات الفوالق والينابيع والآبار القائمة فعلاً[35].

تعتبر عملية إعداد الخرائط الكونتورية، التي تصف عملية الصرف وكثافة الفوالق والشقوق لكل وحدة في منطقة ما، المرحلة التالية من مراحل ربط أنظمة المعلومات الجغرافية. وهناك حاجة إلى القيام بسلسلة من الخطوات؛ منها:

1. تقسيم المنطقة إلى مربعات متساوية في المساحة كأنها شبكة.

العالم العربي وبحوث الفضاء:
أين نحن منها؟

2. وضع الشبكة على خريطة الصرف أو الفوالق، وحساب عدد وطول خطوط الصرف أو الشقوق في كل مربع، ومن ثمّ قسمة الرقم الناتج على مساحة المربع.
3. نسبة قيم الكثافة الناتجة إلى نقطة المركز في المربع المناظر لها.
4. استقراء هذه الأرقام ورسمها كونتورياً.

علاوة على ذلك، يحتاج إجراء تحليل تضاريس السطح إلى استخلاص وقياس عدد كبير من المعالم المتنوعة. وربما تكون هذه المهمة شاقة، خاصة عند استخدام الوسائل التقليدية لجمع البيانات سواء منها الميدانية، أو الواردة من خلال صور الأقمار الصناعية. فيجري التحليل عادة عن طريق تحديد معالم الحوض؛ مثل أعداد الجداول والأنهار، وأطوالها، ونظام القنوات، ومساحات الأحواض الصغيرة، وربطها معاً للحصول على خصائص الحوض الأكبر؛ مثل كثافة الصرف، ونسب تشعب قنوات التصريف، ومساحة قنوات نظام معين وانحدارها، إلى آخره[36].

ويمكن تعريف نموذج الارتفاعات الرقمية بأنه «تمثيل رقمي للتنوع المستمر للتضاريس في مكان ما»[37]، ويستخدم عادة في سياق بيانات الارتفاعات. كما يمكن استخدامه كأساس لمناهج بديلة لاستخلاص خصائص أحواض صرف المياه باتّباع خطوات معينة؛ فقد تم تطوير لوغاريتمات الحاسوب القادرة على تعريف المعالم الطبوغرافية، ورسم أحواض صرف المياه وممرات تدفق قنوات الصرف، من نماذج الارتفاعات الرقمية. وتعتبر نماذج الارتفاعات الرقمية بسبب صيغتها السريعة مناسبة تماماً لتحليل أنظمة المعلومات الجغرافية والتكامل مع غيرها من البيانات الرقمية مثل صور الأقمار الصناعية.

وقد أسفر تطبيق هذه المناهج عن اختيار مواقع محتملة للتنقيب عن المياه الجوفية في دولة الإمارات العربية المتحدة والقطاع الشمالي الشرقي من شبه جزيرة سيناء[38]. وخلال السنوات القليلة الماضية تم الحفر في ثمانية مواقع في شبه جزيرة سيناء في مكامن المياه الجوفية في الأودية التي تخترقها الشقوق؛ فظهرت المياه في مواقع الأودية على عمق يقل عن 25 متراً. أما في مواقع مكامن المياه الجوفية في الفوالق، فقد وجد الماء على أعماق تتراوح بين 320 متراً و350 متراً.

الأجهزة الميدانية

تستخدم الأجهزة الميدانية لتكملة البيانات التي يتم الحصول عليها من الفضاء، حيث توجد الحاجة إلى المعلومات التفصيلية بشأن الطبقة تحت السطحية؛ فعلى سبيل المثال، تتطلب دراسة الآثار استخدام مستشعرات جيوفيزيائية ذات دقة وضوح عالية. وتشبه هذه المستشعرات تلك التي يستخدمها علماء الجيولوجيا في التنقيب عن النفط والمياه الجوفية في الطبقات تحت السطحية[39]. وأهم هذه الأجهزة ما يلي:

1. مستشعر قابلية توصيل الكهرطيسية (Electromagnetic conductivity sensor): يقيس هذا المستشعر الفروق في قابلية التوصيل بين المعالم والتربة السطحية وتحت السطحية. ويوفر قراءات مباشرة على عمق 6 أمتار تقريباً؛ ولذلك فمن الممكن استخدامه لمسح طبقات التربة المتراكمة بعضها فوق بعض أو الكهوف والتجاويف تحت السطحية؛ مثل القبور.

2. الرادار المخترق للأرض (Ground-penetrating radar): هو عبارة عن نوع من أجهزة الرادار منخفضة التردد قادرة على "رؤية" ما تحت

سطح الأرض. ومن المعروف أن أجهزة الرادار التقليدية تستخدم أشعة الميكروويف، التي يمكنها اختراق عدة سنتيمترات في الصخور. أما أجهزة الرادار المخترقة للأرض فتستخدم موجات بتردد أقل بكثير من الميكروويف (قريبة من تلك المستخدمة في موجة إف. إم. في الإذاعة أو البث التلفزيوني)، إذ تقوم بقذف موجات قصيرة من طاقة تردد راداري تدوم عدة أجزاء من المليار من الثانية فقط. وعندما تنتقل الموجات الرادارية خلال الأرض، فإنها تمر في طبقات مختلفة من الرمال أو التربة أو التربة الطينية أو الصخور أو المواد الأخرى من صنع الإنسان. وينتج عن كل سطح يفصل بين أي طبقتين نوع من الصدى الذي يرتد إلى السطح، حيث يتم تسجيله بواسطة الجهاز. وكلما كانت الطبقة العاكسة أعمق، ازداد الوقت الذي يستغرقه الصدى للعودة إلى السطح.

3. أجهزة قياس المغناطيسية (Magnetometers): يتأثر المجال المغناطيسي للأرض بمكونات الطبقة تحت السطحية والتي تتمتع بمغناطيسية مختلفة عن مغناطيسية التربة المحيطة بها. وبينما يسهل الكشف عن المعالم الصغيرة المتمركزة بالقرب من السطح، فإن التكوينات الجيولوجية التي تقع على مسافة أعمق لا يمكن رؤيتها إلا إذا امتد المسح ليغطي مساحات واسعة. ومن أكثر الأجهزة انتشاراً المغناطيس البروتوني الذي يستخدم في التنقيب عن الآثار، ويستطيع هذا الجهاز أن يقيس اختلافات متناهية الدقة في شدة المغناطيسية؛ مثل تلك الناجمة عن وجود مواقد قديمة.

4. أجهزة قياس المقاومة النوعية (Resistivity instruments): في عمليات التنقيب عن الآثار باستخدام أسلوب المقاومة النوعية، يخترق

تيار كهربائي مستحثات الأرض بواسطة قطبي تلامس (إلكترودين)، ويتم قياس الفرق في الجهد الكهربائي بين القطبين. ويمكن تحريك صفوف من هذه الأقطاب على طول قطاعات معينة لكي يتم تحديد التنوع الجانبي في المقاومة النوعية، وبالتالي تحديد موقع المعالم المدفونة.

5. أجهزة قياس الزلزلة (Seismic instruments): تشبه أجهزة قياس الزلزلة التي يستخدمها علماء الآثار كثيراً الأجهزة المستخدمة في الكشف عن الاهتزازات الناجمة عن الزلازل وتضخيمها وتسجيلها، ولكنها حساسة للموجات المرنة المولّدة بطريقة صناعية. ويتم تسجيل الحركات المرصودة على أوراق رسم بيانية تظهر الوقت الذي تستغرقه الموجة للانتقال إلى طبقة الانعكاس أو الانكسار تحت السطح والعودة إلى السطح ثانية. ويتم ربط الرسوم البيانية معاً لإظهار عمق سطح التماس الذي تسبب في الانعكاس. وهكذا تظهر "صورة زلزالية" لطبقات ما تحت السطح وتركيبها.

إضافة إلى هذه الأجهزة المستخدمة على السطح، تستخدم أجهزة أخرى في الاستشعار عن بعد تحت المياه الساحلية؛ وعلى وجه التحديد يتم استخدام الأجهزة التالية في رسم قيعان البحار لاختيار مواقع إقامة الموانى على سبيل المثال، أو في الاستكشافات الأثرية على طول الساحل:

1. أجهزة السونار جانبية المسح (Side-scanning sonar): ترسل موجات صوتية بواسطة محول طاقة صوتي كهربائي، على اتصال مباشر بالماء. ويعمل محول الطاقة على تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة صوتية (مثل مكبر الصوت)، ومن ثمّ يحول الطاقة الصوتية المرتدة إلى طاقة

كهربائية (مثل المكرفون). وينتج عن الأشياء المدفونة في القاع "أصداء" معينة تساعد على تحديد مدى الأهداف المرصودة واتجاهاتها وطبيعتها.

2. المسبار الكهرطيسي (Electromagnetic sounder): وهو يولد مجالاً مغناطيسياً بوساطة تيار كهربائي. ويجري معهد أبحاث الفضاء في روسيا حالياً اختبارات للأجهزة الكهرطيسية بالغة الحساسية، التي قد تكون قابلة للتعديل من أجل القيام بالاستكشافات الأثرية خارج المياه الساحلية.

3. أجهزة تصوير ما تحت القاع (Sub-bottom profiling): وتستخدم في التقاط صور مفصلة لطبوغرافية قاع البحر، والتي قد تحدد مواقع الآثار المغمورة.

4. التصوير بالفيديو وغيره: ويستخدم في التقاط صور بالغة الوضوح لتضاريس قاع البحر، وذلك على أيدي مصورين غطاسين أو بأجهزة تصوير آلية تعمل تحت الماء.

تطبيقات في شبه الجزيرة العربية

مقدمة

تم اكتساب الكثير من المعرفة من خلال دراسة صور الصحراء الملتقطة من مدار الأرض[40]. ومن العوامل التي زادت من فاعلية الصور التي التقطها رواد الفضاء ألوانها الطبيعية[41]؛ إذ إن المظهر الخارجي للصحراء ملوّن، وللألوان معانيها الدالة[42]. ومن هنا ساعدت الصور الملوّنة على فهم شكل الصحراء وبنيتها، وساعدت على تصنيف الكثبان الرملية،

وكذلك على تقويم التكوينات الأرضية الناجمة عن الرياح، وبخاصة في شبه الجزيرة العربية[43].

يقع شبه الجزيرة العربية في الزاوية الجنوبية الغربية لقارة آسيا، ويحده من الغرب خليج العقبة والبحر الأحمر، ومن الجنوب بحر العرب، ويحده من الشرق الخليج العربي وخليج عُمان. وهو عبارة عن هضبة كبيرة من الصخور المتبلورة القديمة التي يعلوها الحجر الجيري والرملي[44]. وتبرز الصخور المتبلورة الموجودة في المناطق الجنوبية الغربية على شكل حزام يقع بموازاة ساحل البحر الأحمر. ويوجد أعلى ارتفاع في جنوب غرب شبه الجزيرة العربية، حيث يبلغ ارتفاع الجبال حوالي 3700 متر عن سطح البحر[45].

تمنع جبال شبه الجزيرة العربية الساحلية المرتفعة (الشكل 10) الرطوبة القليلة التي تحملها الرياح من الوصول إلى المناطق الداخلية، ولذلك تعتبر المناطق الداخلية من أكثر المناطق جفافاً على وجه الأرض. ويبلغ معدل سقوط الأمطار في المناطق الداخلية من شبه الجزيرة العربية أقل من 10 سنتيمترات سنوياً[46]. ويتمثل الجفاف الشديد في مناطقها الداخلية بالافتقار إلى الأنهار والجداول دائمة الجريان، وبالتالي إلى الغطاء النباتي الطبيعي[47]. وتتألف المنطقة الداخلية التي تتخذ شكل حوض من تضاريس وسهوب متعاقبة؛ إذ تتصل صحراء النفود في الشمال مع الربع الخالي في الجنوب عن طريق صحراء الدهناء (النفود الصغرى)، والتي تشكل ممراً رملياً ضيقاً. ويعتبر الربع الخالي الواقع في أقصى جنوب الجزيرة العربية أكبر منطقة رملية في العالم.

تندر المراجع المتعلقة بجيولوجية شبه الجزيرة العربية قبل بدء البحث والتنقيب عن النفط في المملكة العربية السعودية في عام 1933. وتقدم

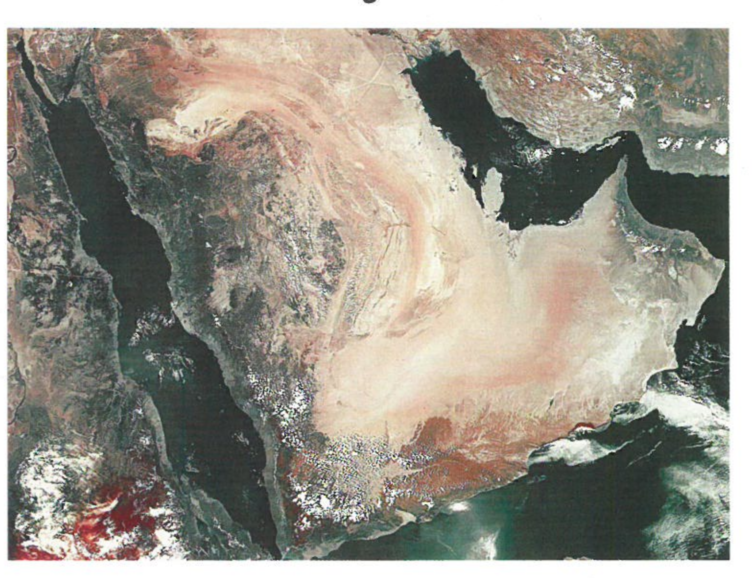
الرحلات التي قام بها فيلبي H.S.J.B. Philby على الجمال عبر الجرف الداخلي - إبان الحرب العالمية الأولى والسنوات اللاحقة - أول دليل قاطع على أن الصخور البحرية كانت مكشوفة ومنتشرة في أواسط شبه الجزيرة العربية على نطاق واسع[48]. وفي عام 1954 دخلت الاستكشافات الجيولوجية مرحلة مهمة عندما بدأت شركة النفط العربية الأمريكية (ARAMCO) وهيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية (USGS) بوضع سلسلة من الخرائط الجغرافية-الجيولوجية تغطي معظم شبه الجزيرة العربية، وللقيام بهذه المهمة أصبحت المملكة العربية السعودية واحدة من الدول المعدودة في العالم التي تمت تغطيتها على نحو كامل بالصور الجوية الملتقطة من ارتفاعات عالية[49]. وبدأت عملية وضع الخرائط بإعداد خرائط ذات مقياس رسم يبلغ 1 : 500,000 فوق خرائط أساسية طبوغرافية تستخدم مقياس الرسم ذاته. ومن هذه الخرائط أعدت خريطة جيولوجية وفق مقياس رسم يبلغ 1 : 2,000,000، ونشرت عام 1963[50]. وما زالت هذه الخريطة مصدراً أساسياً للمعلومات الجيولوجية المتعلقة بشبه الجزيرة العربية حتى الآن.

المناخ المطير في الماضي

تماثل الظروف المناخية لشبه الجزيرة العربية تلك الموجودة في الجزء الشرقي من الصحراء الكبرى، حيث يتضح وجود فترات مبكرة تميزت بكمية عالية من الأمطار، من خلال كشف المواقع الأثرية التي تشتمل على رواسب البحيرات[51]؛ ورواسب البحيرات في المواقع الأثرية معروفة بصورة أفضل من خلال العمل في منطقة بئر طرفاوي في جنوب غرب مصر والمواقع المماثلة في شمال غرب السودان[52]. ويشير هذا الدليل

الأثري المسلم به للاستيطان البشري السابق، المترافق مع بقايا من الحياة النباتية والحيوانية، إلى وجود مياه سطحية في الماضي. وبالفعل تنتشر في الجزء الشرقي من الصحراء الكبرى بقايا بحيرات وقنوات لجداول مائية وأنهار جفت منذ وقت بعيد[53].

الشكل (10)



صورة بالألوان غير الطبيعية التقطت بجهاز AVHRR من القمر الصناعي NOAA II التابع لوكالة البحار والجو الوطنية الأمريكية، وقد التقطت بيانات الصورة في 1 و6 أيلول/ سبتمبر 1990، ويظهر معظم شبه الجزيرة العربية، ويبين نمط حركة الرياح بوضوح انتقال المواد من الشمال إلى الجنوب.

(بإذن من Wayne Rhode, EROS Data Center, U.S. Geological Survey, Sioux Falls SD, USA).

وكما أوضحنا سابقاً، يستطيع رادار التصوير المحمول على مكوك الفضاء (SIR-A) التقاط صور التضاريس المتنوّعة؛ بما فيها الصدوع والصخور الناتئة والكثبان الرملية[54]، ومن بين التضاريس التي تم الكشف عنها قنوات مائية تعود لنهر قديم، ومجار لجداول مائية قديمة مدفونة تحت

الرمال على عمق خمسة أمتار في الجزء الجنوبي الغربي من الصحراء الغربية في مصر بالقرب من الحدود مع السودان[55].

يعتقد أن كربونات الكالسيوم الموجودة في بعض القنوات النهرية المدفونة قد ترسبت في الأجزاء العليا للمنطقة المشبعة خلال فترات الأمطار الغزيرة، حيث كانت مستويات الماء الموجودة تحت السطح عالية. والأسلوب الوحيد المتاح لتحديد عمر رواسب الأنهار القديمة التي كشفها الرادار، عدا تخمينات علماء الآثار، هو تحليل عنصر اليورانيوم الذي تم تطبيقه على عينات من الكربونات المترسبة في المياه الجوفية؛ وبناء على هذه التحاليل تم التعرف إلى أربع فترات انتشرت فيها رواسب الكربونات[56].

حثت هذه النتائج على زيادة الاهتمام في سياق البحث عن دليل جديد على وجود قنوات نهرية مدفونة تحت الرمال، وتحقيق توثيق أفضل لأزمنة فترات الأمطار الغزيرة. وقد سجلت أجهزة رادار التصوير الفضائي (SIR-C) صوراً لعدد كبير من الأنهار والجداول في شرقي الصحراء الكبرى، وكذلك في الجزء الشرقي من شبه الجزيرة العربية، وتحديداً في إمارة دبي (انظر القسم اللاحق). وعلاوة على ذلك أجريت عمليات قياس إضافية لأزمنة الفترات المناخية الرطبة بالماضي في شرقي الصحراء الكبرى.

وبناء على التوثيق الذي تم عن طريق التأريخ بالكربون المشع والاستكشافات الأثرية، يمكن القول بأن شرقي الصحراء الكبرى مر بفترة رطوبة أشد إبان الحقبة الهولوسينية المبكرة والوسطى، أي منذ ما بين 10000 إلى 5000 عام مضى. وقبل ذلك تعاقبت دورات الجفاف والرطوبة إلى ما قبل 500,000 عام مضى تقريباً.

وتدعم هذه النتائج الزعم القائل بأن فترات الأمطار الغزيرة الماضية في صحارى شمال أفريقيا وشبه الجزيرة العربية تناظر فترات فاصلة بين الدورات الجليدية في الشمال. وتشير نتائج تأريخ العمر والعلاقات الميدانية إلى أن أقدم بحيرة وأقدم كربونات مياه جوفية مترسبة كانت أكثر كثافة من تلك المنتمية إلى الفترات الأحدث، وإلى أن كربونات الفترات الرطبة المتأخرة تمركزت جغرافياً في القنوات المدفونة والمنخفضات[57]. ولهذا فمن الواضح أن الدليل الأثري والجيولوجي يشير إلى اتساع تأثير المياه إبان التاريخ الجيولوجي الحديث.

العلاقة بين المياه والرمال

في أي نظرية تتعلق بنشأة الرمال وتطوّر أشكال الكثبان الرملية عبر الزمان والمكان، لا بد من توضيح حقيقة أن تجمعات الكثبان الرملية في شبه الجزيرة العربية، كما في غيرها من الصحارى، توجد في المنخفضات الطبوغرافية أو قربها. وهناك ملاحظتان لا بد من أخذهما بعين الاعتبار؛ الأولى هي أن الرياح في هذه الصحراء تنتقل باتجاه الجنوب معظم أشهر السنة، باستثناء المناطق التي تعترضها النتوءات الطبوغرافية. وكما هي الحال في شرقي الصحراء الكبرى، تقاس أنماط الرياح عن طريق محطات الأرصاد الجوية[58]، أو تستنبط من خلال أشكال الكثبان الرملية، أو تقدّر عن طريق قياس اتجاه حركة الكثبان الرملية ومعدلها[59]. أما الملاحظة الثانية فهي أن الرمال في حقول الكثبان الرملية تتألف غالباً من حبيبات كوارتز دائرية الشكل. وتتألف الصخور المكشوفة الواقعة إلى الشمال من بحار الرمال من الحجر الجيري الذي لا يمكن أن يكون مصدراً للكميات الضخمة من الرمل الكوارتزي الموجود في تلك البقاع[60].

هاتان الملاحظتان تقللان من الاحتمال القائل بأن أصل الغالبية العظمى من الرمال ومنشأها كان بفعل حت الرياح وانتقالها من الشمال؛ ولهذا السبب فإن الاحتمال الأكبر هو أن المناطق المغطاة بالكثبان الرملية كانت عبارة عن مناطق منخفضة نسبياً تلقت المواد المترسبة من قنوات الجداول التي كانت تجري باتجاهي الشمال والشرق في الأزمنة الجيولوجية الماضية. وعندما تغيرت الظروف الجوية عملت الرياح على نحت تلك التجمعات الرملية على شكل تلال وكثبان رملية مختلفة الأشكال.

تدعم أنماط الكثبان في شرقي الصحراء الكبرى هذه النظرية[61]. وكان أكبر الأشكال الخطية فيها يُدعى كثبان "ظهر الحوت"، وقد أطلق عليها هذه التسمية باجنولد (Bagnold) (1941)، الذي وضع نظرية تقول بأنها كبرت بحيث إنه لم يعد بإمكانها أن تنتقل أو تتحرك[62]. لكن الكثبان تتحرك لأن حبيبات الرمل تنتقل حُبيبة حُبيبة من موضعها بفعل الرياح. وعلاوة على ذلك، أظهرت المقاطع العرضية في كثبان مماثلة في الصحراء الغربية بمصر أن الرمل تراكم على هيئة طبقات أفقية بدلاً من طبقات منحنية متوازية مع أنماط الكثبان[63]. ويوحي هذا بأن ما أسماه باجنولد بكثبان ظهر الحوت ما هي إلا تلال متبقية من رواسب رملية مستوية حيث إن الرياح أزالت الرمال فيما نراه اليوم كممرات بين التلال الخالية من الرمل.

ولهذه الفرضية دلالة بعيدة المدى؛ لأن الرمل إذا كان ينتقل بواسطة الأنهار القديمة، فإن كميات هائلة من الماء النقي ربما تكون قد وصلت إلى أحواض الترسيب، ولا بد أن تكون معظم هذه الكميات من المياه قد رشحت إلى طبقة الصخور تحت الرمال من خلال الفتحات المسامية الأولية والثانوية. وهكذا فإن المناطق التي تشتمل على تجمعات الكثبان الرملية الضخمة قد تحتوي على موارد مياه جوفية هائلة. وإلى جانب مكامن المياه

الأفقية المعروفة نسبياً، والموجودة في المادة المترسبة المسامية، يُعتقد بأن مزيداً من الماء يوجد في مكامن المياه الجوفية في الشقوق والفوالق، وهي أحزمة واسعة شبه رأسية في الصخور قد تحتوي كميات ضخمة من الموارد غير المستثمرة حتى الآن[64]. بالإضافة إلى ذلك تعتبر الدلتا القديمة المروحية الشكل مؤشراً على الطرق التي سلكتها المياه إبان العصور الرطبة الماضية، ويتمثل هذا في الجزء الشمالي الشرقي من شبه الجزيرة العربية؛ وبخاصة في إمارة دبي (الشكل 11).

دلتات الأودية في دبي

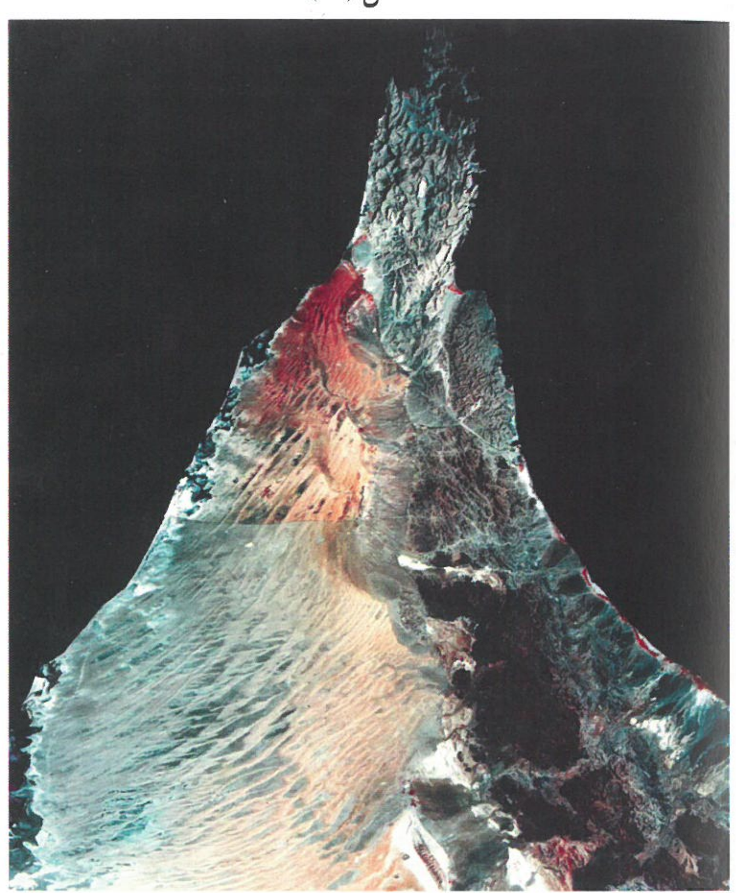
يبدأ مصدر المياه الجوفية في إمارة دبي كما في مختلف أنحاء دولة الإمارات العربية المتحدة، عند جبال عُمان الشمالية في الشرق. وربما يصدق ذلك على معظم الأزمنة الجيولوجية، عندما نجمت الارتفاعات والتصدعات المتكررة عن اصطدام الزاوية الشمالية الشرقية لصفيحة الجزيرة العربية الصلبة مع الصفيحة الأوراسية. ولهذا السبب من الممكن القبول ظاهرياً بفكرة أن أنظمة الأودية ومراوحها المثلثية الشكل (Delta Fans) بدأت تتشكل في العصور الجيولوجية القديمة. وكانت الترسبات الأحدث - بما فيها تلك التي تشكل أساس منطقة دبي - قد ترسبت على طول سفوح التلال المتاخمة لجبال عُمان (الشكل 11).

يشكل السهل الصحراوي لدبي معالم القطاع الواقع في أقصى الشمال الشرقي لحوض الربع الخالي، مع احتمال وجود ترسبات كثيفة فيه. ولا بد أن هذا الحوض كان موجوداً إبان الفترات المناخية المطيرة. وكانت الأحواض المماثلة له تضم كلاً من المياه والرمال المترسبة في مختلف أنحاء صحارى شمال أفريقيا وشبه الجزيرة العربية[65]؛ ولذلك يجب أن يؤخذ هذا الحوض بعين الاعتبار في سياق عمليات البحث عن الماء في المستقبل.

العالم العربي وبحوث الفضاء:
أين نحن منها؟

وسبب ذلك هو أن الأحواض الترسيبية تظل في الموقع نفسه خلال معظم الأزمنة الجيولوجية، الأمر الذي يتيح تجمّع عمود ترسيبي كثيف مع احتمال وجود موارد مائية جوفية.

الشكل (11)



صورة فضائية التقطها القمر الصناعي "لاندسات" للطرف الشرقي من شبه الجزيرة العربية، وتظهر أجزاء من سلطنة عُمان ودولة الإمارات العربية المتحدة. وتحجب جبال عُمان (المنطقة الداكنة) السحب مع انقسام مياه الأمطار إلى مياه سطحية جارية تتدفق إلى شرق الجبال وغربها. ويظهر في وسط الجزء السفلي من الصورة جبل حفيت الواقع في مدينة العين بإمارة أبو ظبي.
(بإذن من Earth Satellite Corporation, Rockville MD, USA).

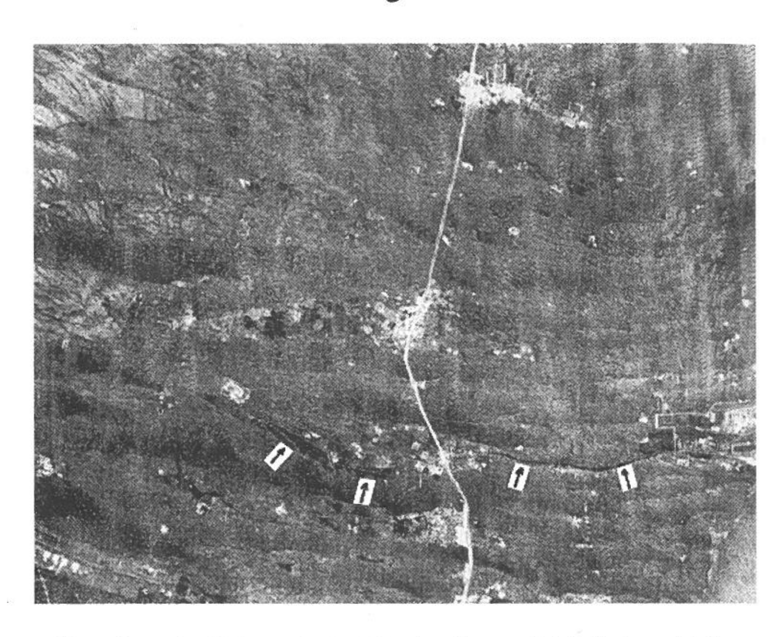
بالإضافة إلى الرواسب الرملية فإن التفسيرات الجيولوجية للصور التي التقطتها الأقمار الصناعية للمنطقة تظهر أن المؤشرات المهمة على احتمال وجود موارد مياه جوفية تتضمن المراوح المثلثية الشكل التي تصب فيها الأودية، وتتميز الحافة الغربية لجبال عُمان بكثرة مناطق المراوح المثلثية، وتنتهي الحدود الحالية لهذه المراوح عند الحدود الشرقية للرواسب الرملية للسهل الصحراوي (الشكل 11).

تشكلت هذه المراوح جراء تراكم المواد المترسبة بعد سقوط الأمطار على نحو غير منتظم؛ ولهذا السبب تظهر المراوح وفرة في خطوط التصريف، التي نجم كل منها عن عوامل الحت التي أصابت الرواسب النهرية السابقة. في مثل هذا النمط تكثر عادة الرواسب الخشنة عند قمة المروحة مثلثية الشكل، فيما يتوضَّع الطمي الناعم عند الحافة الخارجية للمروحة. وعلى الرغم من أن الرواسب الخشنة قد تتمتع بقدرة أكبر على تخزين المياه، إلا أن المناطق الزراعية توجد عادة على حواف الدلتا حيث التربة الناعمة الأكثر خصوبة.

وتكشف تفسيرات صور الأقمار الصناعية أن المراوح الحالية تعتبر طبقة مضافة إلى الرواسب النهرية القديمة؛ فسهل دبي الصحراوي يغطي طبقة من المواد الناعمة داكنة اللون. وهذه المواد التي تتألف في العادة من الحصى والرمل والطمي، لا بد وأن تكون ترسبت عن طريق قنوات نهرية قديمة. وربما وصلت بعض هذه القنوات إلى خط الساحل الغربي لهذا الجزء من شبه الجزيرة العربية. وتكشف الصور الرادارية على وجه التحديد مجاري الجداول والأنهار القديمة التي أمست جافة في الوقت الحاضر (الشكل 12).

العالم العربي وبحوث الفضاء:
أين نحن منها؟

الشكل (12)



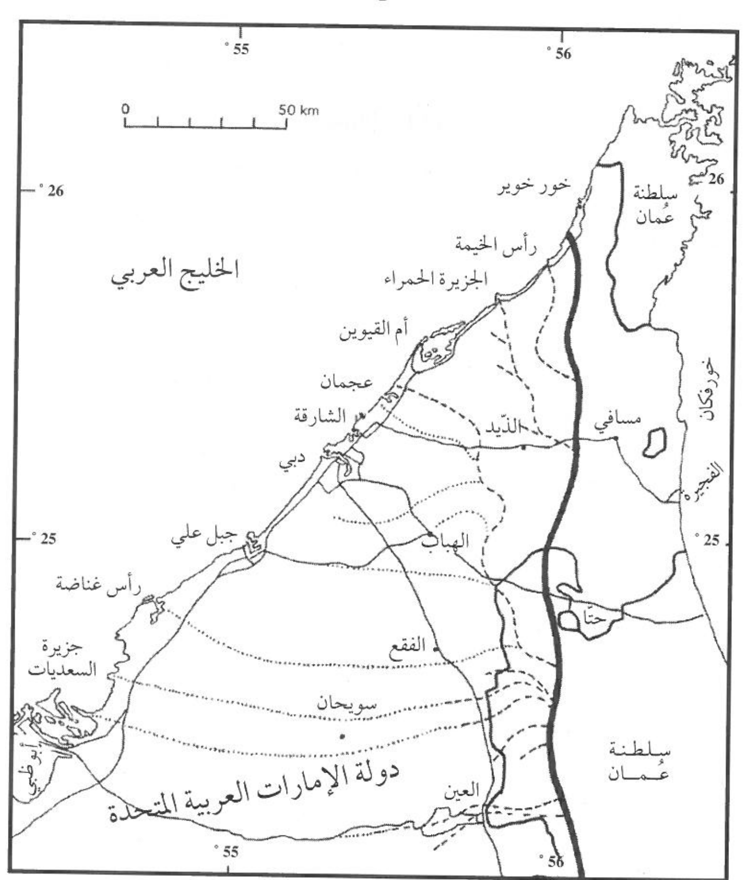
صورة التقطت بواسطة رادار التصوير الفضائي (SIR-C) باستخدام الموجة (L) للجزء الجنوبي الشرقي من إمارة دبي، وقد اخترقت موجات الرادار الغطاء الرملي لتكشف مجاري الجداول النهرية المدفونة (الجافة في الوقت الحاضر)؛ مثل المجرى الذي تم تمييزه بالسهام.
(بإذن من Jet Propulsion Laboratory, Pasadena CA, USA).

تظهر في خط الساحل الحالي نتوءات ربما تفسر على أنها مراوح مثلثية الشكل. ويمكن استنباط المعالم الخطية التي تكشف عنها الأراضي المنخفضة في السهل الصحراوي، والتي كانت ممرات للقنوات النهرية على طول خط الساحل. (الشكل 13)

ربما تكون الجداول التي شكلت هذه الأودية نشطة جزئياً في ظل المناخ الحالي، ولكن مجاريها تعترضها الكثبان الرملية الأحدث التي شكلتها الرياح، ويبدو أن هذه الكثبان كانت مسؤولة عن تحول مسارات الأودية

الرئيسية باتجاه الشمال. ولأن الرمال المتحركة باتجاه الشرق تتجمع على شكل تلال مرتفعة، يبلغ ارتفاع بعضها أكثر من 50 متراً؛ فإنها تسد مجاري المياه المتجهة غرباً وتجبرها على التوجه شمالاً[66].

الشكل (13)



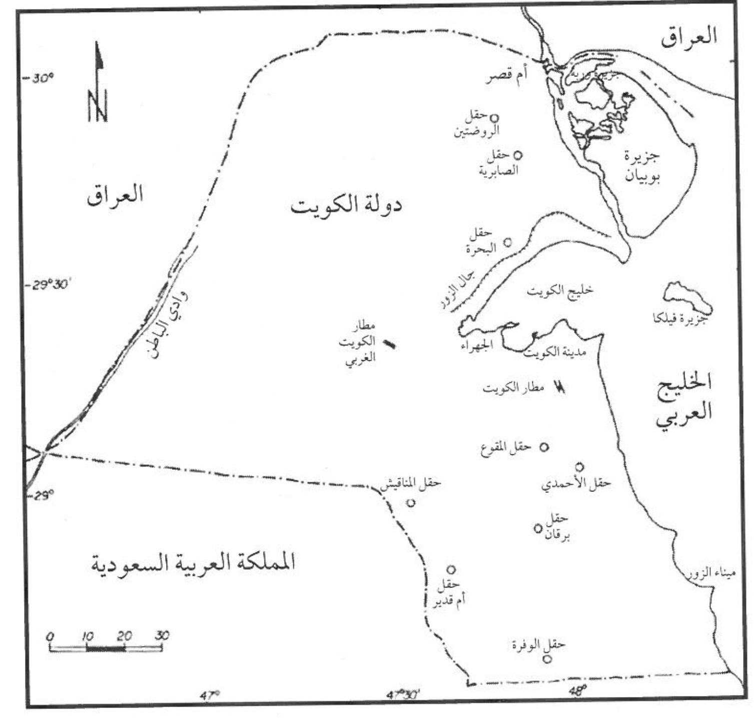
رسم توضيحي للأودية التي تنطلق من الحدود الغربية لجبال عُمان (الخط الداكن الذي يمتد من الشمال إلى الجنوب) وامتداداتها (الخطوط المنقطة والمتقطعة) في السهل الصحراوي لإمارة دبي، كما استنبطت من المنخفضات التي كشفتها صور الأقمار الصناعية، وينتهي كل خط عند نتوء (دلتا) على طول ساحل دولة الإمارات العربية المتحدة على الخليج العربي.

العالم العربي وبحوث الفضاء:
أين نحن منها؟

دلتا وادي الباطن

تشير البيانات التي تم الحصول عليها من الأقمار الصناعية إلى أن التلال والجروف المروحية الشكل في المنطقة الواقعة غرب دولة الكويت (الشكل 14) هي بقايا دلتا نهر وادي الباطن القديم، الذي كان يقوم

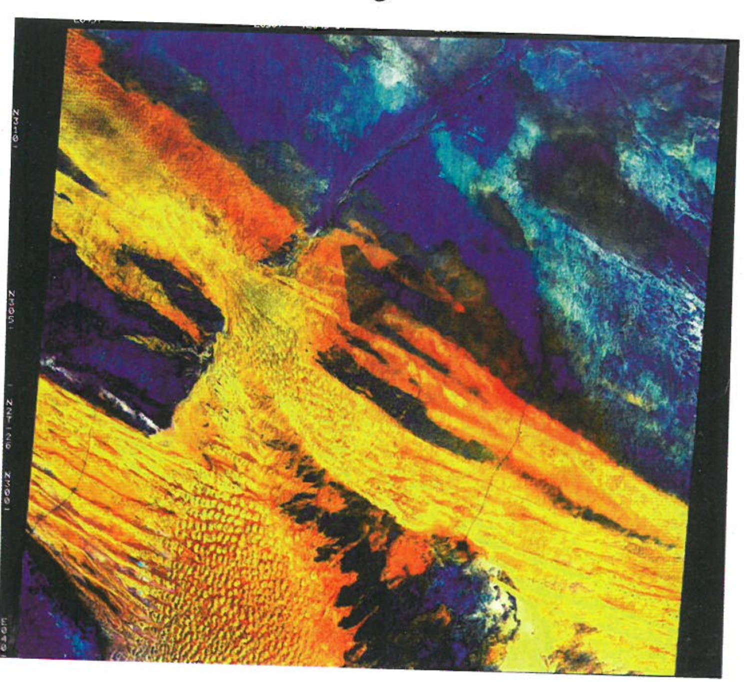
الشكل (14)



خريطة توضيحية لدولة الكويت تظهر موقع وادي الباطن، حيث يمر جزء يتراوح طوله بين 5 و10 كيلومترات من مجرى النهر الذي تعرض للجفاف على طول الحدود الكويتية الغربية مع العراق. وتمتد رواسب الدلتا المروحية لوادي الباطن حتى جرف جال الزور على طول الحدود الشمالية لخليج الكويت.

بتصريف مياه الأمطار التي تسقط على جبال الحجاز غرب المملكة العربية السعودية، وقد غطت الرمال الجزء الأوسط من مجراه لمسافة تزيد على 170 كيلومتراً (الشكل 15)[67].

الشكل (15)



صورة التقطها القمر الصناعي "لاندسات" للدهناء والعروق، أهم ممرين للكثبان الرملية يتجهان من صحراء النفود نحو الجنوب. ويمكن ملاحظة أن النمط الخطي للكثبان الواقع إلى اليسار يتحول إلى نمط متقطع يشبه "ثمرة الذرة" مع انحدار الرمال على طول جرف وادي الباطن؛ ويبدو الأخير واضحاً في الجزء العلوي من الصورة.

توضح المراقبة بواسطة الأقمار الصناعية، التي تأكدت ميدانياً، انتشار الحصى غربي دولة الكويت - المؤلف بشكل رئيسي من الصخور البركانية والنارية والمتحولة التي لا توجد في أنحاء دولة الكويت، ولكنها توجد بوفرة

في جبال الحجاز، كما تبين سبب حركة كميات ضخمة من الرمال والطمي - الشائعة في بيئات دلتا الأنهار - في دولة الكويت كأحد آثار حرب الخليج.

استخدمت صور "جهاز الخرائط النوعية" التي التقطت في أواخر عام 1991 وأوائل عام 1992 في رسم أنماط الخطوط المروحية الشكل التي تتفرع من وادي الباطن. وأكدت الملاحظة الميدانية أن معظم الخطوط تطابق الجروف والتلال الحصوية؛ فكلاهما من نواتج الترسبات "الدلتية" التي تعرضت للتعرية والحت. وتبدأ الأنماط المروحية الشكل عند الزاوية الواقعة في أقصى غرب دولة الكويت وتنحدر تدريجياً نحو خط ساحل الخليج العربي بطول 150 كيلومتراً باتجاه الشرق.

من الناحية الطبوغرافية يعتبر شمال دولة الكويت صحراء مسطحة توجد فيها منخفضات ضحلة وتلال قليلة الارتفاع تتجه من الشمال الشرقي إلى الجنوب الغربي، مع وجود تل واحد فقط هو جال الزور الذي يبلغ ارتفاعه 145 متراً (الشكل 14). كما توجد هناك سلاسل من التلال الحصوية باتجاه جال الزور. أما جنوب دولة الكويت فهو عبارة عن سهل مغطى بالرمال يخلو من الأشجار، والاستثناء الوحيد هو تل الأحمدي الذي يبلغ ارتفاعه 125 متراً.

الملمح المورفولوجي المهيمن على دولة الكويت هو أن معظم المواد السطحية تبدو كأنها نواتج عمليات نهرية؛ فهي تبدو كرواسب دلتية لنهر جاف كان نشطاً إبان العصور المطيرة في الماضي. وبناء على المقارنة مع المناطق المجاورة، يمكن القول بأن آخر الحقب المناخية الغزيرة المطر انتهى قبل نحو 5000 سنة تقريباً[68]، وربما عمل النظام النهري على تصريف مياه الأمطار الساقطة على الجزء الأوسط الشرقي من جبال الحجاز التي تبعد نحو 850 كيلومتراً إلى الجنوب الغربي من دولة الكويت (الشكل 10).

يتمثل القطاع الغربي للنظام النهري الكامل في قناة عريضة تعرف باسم وادي الرمة، تمتد على طولها مدينتا عنيزة وبريدة (الشكل 16). وتضم أطرافه الغربية العديد من الجداول الصغيرة الجافة التي تشكّل نمطاً شجري التفرع، وهو النمط المعهود في أنظمة التصريف التي تتكون في الأراضي شديدة الانحدار، وتبلغ مساحة حوض تصريف النهر في المنطقة نحو 100,000 كيلومتر مربع.

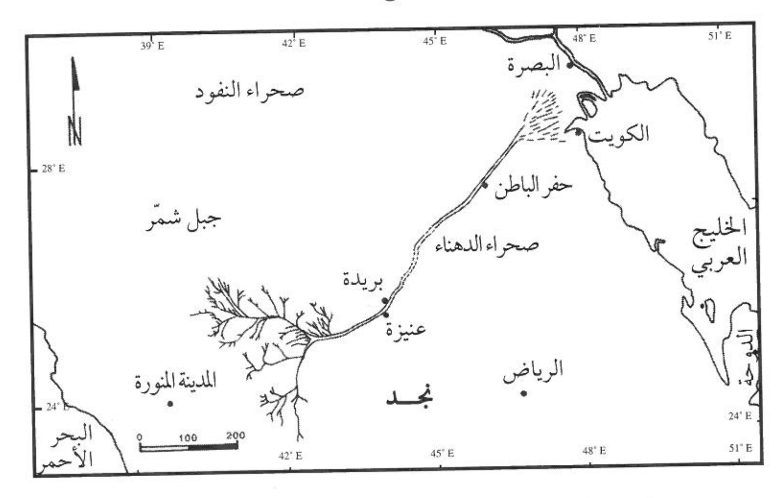
يُظهر القطاع الأوسط للنظام النهري المغطى بالرمال نمطاً خطياً للكثبان الرملية التي تتغير فجأة إلى أشكال مقببة أو هلالية. ويعتقد أن تغير نمط الرمال هو نتيجة للتغير في الطبوغرافيا؛ حيث يهبط الرمل في منحدر يوجد في قاع النهر. وإلى الشرق من هذه الكثبان تظل قناة وادي الباطن مكشوفة تماماً إلى أن تصل غربي دولة الكويت (الشكل 15).

يغطي سطح الصحراء سهل كلسي إلى الشرق من وادي الباطن، على طول الحدود الكويتية العراقية. وتتألف هذه الوحدة من حطام صخري يحيط بتلال حصوية صغيرة. وغالباً ما تكتسي أجزاء من هذه الوحدة بقشرة ثانوية صلبة؛ وهي عبارة عن طبقة ثانوية من الرواسب الملحية تُشكل قشرة من التربة الملحية أو القلوية(69). وتشكل طبيعة هذه الرواسب دليلاً آخر على أن هذه المنطقة ترجع إلى أصول دلتية.

وتقع أكبر وحدة مورفولوجية في دولة الكويت إلى الشمال الشرقي من وادي الباطن؛ وفي هذه الوحدة تتميز الأرض بأنها متجعدة، وتتألف بشكل أساسي من طبقة رملية رقيقة تكسوها الأعشاب، ويطلق عليها محلياً اسم سهل الهويملية(70)؛ ويعود سبب التجعد إلى تجمع الرمال التي تودعها الرياح عند الأعشاب الصحراوية. وتُغطى المناطق الواقعة بين

الأكوام الرملية بطبقة كثيفة من الرمل الذي سفته الرياح. ويتفق وجود طبقة كثيفة من الرمال مع الأصل الدلتي للرواسب السطحية في شمال دولة الكويت.

الشكل (16)



رسم توضيحي لوادي الباطن وامتداده باتجاه الغرب في شبه الجزيرة العربية. وتعرف المنطقة التي تغطيها الرمال باسم الدهناء، وقد تم تصويرها في الشكل (15). ويلاحظ أن المروحة المثلثية الشكل في دولة الكويت لها جذورها في نمط التصريف إلى الجنوب من جبل شمّر، وأن المدن الثلاث الوحيدة في صحراء نجد (بريدة وعنيزة وحفر الباطن) تقع على طول مجرى النّظام النهري الجاف.

(El- Baz, and Al- Sarawi,1996).

في جنوب القسم الأوسط من دولة الكويت تتكون الأرض من سهل رملي مؤلف أساساً من طبقة رملية متحركة تتشكل من رمال فاتحة اللون وسطوح متموجة؛ وهي رمال تسفيها الرياح، وتتجمع في المنخفضات الواسعة. وقد تكون الرمال جاءت من السهول الموجودة في شمال دولة الكويت وجنوب العراق، وكذلك من الانتقال الدوري للطبقات الرملية الرقيقة المتجعدة التي تكسوها الأعشاب الموجودة في دولة الكويت(71).

ويُغطي شمال دولة الكويت سهل حصوي واسع يحتوي جسيمات صغيرة يتراوح قطرها بين ٤ مليمترات و10 مليمترات. وتعتبر هذه الوحدة صحراء مرصوفة بحصى كبيرة – وهي عبارة عن شظايا صخرية كبيرة لا يمكن أن تحملها الرياح؛ ولذلك تتخلف وراء الجسيمات الدقيقة التي تنقلها الرياح، ويتنوع تركيزها بين الحصوات المتناثرة والتجمعات الكثيفة من الحصى والحبيبات.

إن تفسير تضاريس سطح دولة الكويت باعتبارها مخلفات دلتا نهر قديم يوضح سبب انتشار المواد الحبيبية الدقيقة الناعمة الموجودة تحت الحصى التي ترصف الصحراء في دولة الكويت[72]، وقد نجم عن هذا الظرف انتقال كميات كبيرة من المواد الدقيقة في أعقاب حرب الخليج الثانية.

آثار حرب الخليج الثانية

لقد كان لغزو العراق لدولة لكويت في الثاني من آب/ أغسطس 1990، والتحضيرات للحرب التي أعقبته، أثر عنيف على بيئة الصحراء في المنطقة[73].

وقد ألقت التحليلات التي أجريت على الصور التي التقطتها الأقمار الصناعية "لاندسات" و"سبوت"، إلى جانب البحوث الميدانية، مزيداً من الضوء على طبيعة التغيرات التي لحقت بالتضاريس الصحراوية في دولة الكويت (الشكل 17). وتم توظيف وسائل تحسين الصور الكاشفة عن التغيرات البيئية عن طريق المقارنة بين صور "لاندسات" التي تم الحصول عليها قبل الحرب وبعد إطفاء حرائق آبار النفط، كما تم توظيف صور "سبوت" عالية الوضوح في تقويم طبيعة الدمار البيئي، ولاسيَّما في

حقول النفط الكويتية. وقد نجمت أبرز التغيرات البيئية في هذه المنطقة عن العوامل التالية:

- تحرك الرمال والغبار نتيجة لاضطراب "الرصيف الصحراوي" الطبيعي الذي يحمي حبيبات الرمل الناعمة تحته؛ الأمر الذي أدى إلى تكوين العديد من الكثبان الرملية.
- ترسب طبقة بسمك 10 سنتيمترات من النفط وحبيبات السخام السوداء الخشنة على سطح الصحراء في الاتجاه الموازي للريح؛ وذلك بسبب "المطر النفطي" الناتج عن الدخان المتصاعد من حرائق آبار النفط.
- تكون أكثر من 230 بحيرة نفطية تغطي مساحة تزيد على 30 كيلومتراً مربعاً من سطح الصحراء نتيجة تسرب النفط من آبار النفط المدمرة.
- تلوث أجزاء من المنطقة الساحلية برواسب نفطية ناتجة عن تسرب النفط.

أدى الدمار الذي لحق بطبقة الحصى تحديداً، وهي الطبقة التي تحمي رمال الصحراء من التعرية بواسطة الرياح، إلى إحداث تغييرات جوهرية. ويعود هذا الدمار إلى حركة الآليات العسكرية الثقيلة، وزرع حقول الألغام، وحفر الخنادق، وبناء السواتر لإخفاء الأفراد والتجهيزات العسكرية. وقد عمل انكشاف حبيبات التربة الناعمة على تعريضها لتأثير الرياح السائدة القادمة من الشمال والشمال الشرقي؛ مما نجم عنه تحرك وانتقال كميات هائلة من الرمال والغبار. وقد حملت الرياح الحبيبات الأكثر نعومة على هيئة غبار، وتجمعت حبيبات الرمل لتكوِّن الكثبان الرملية المتحركة. ففي إحدى المناطق على طول الساحل الشمالي لخليج

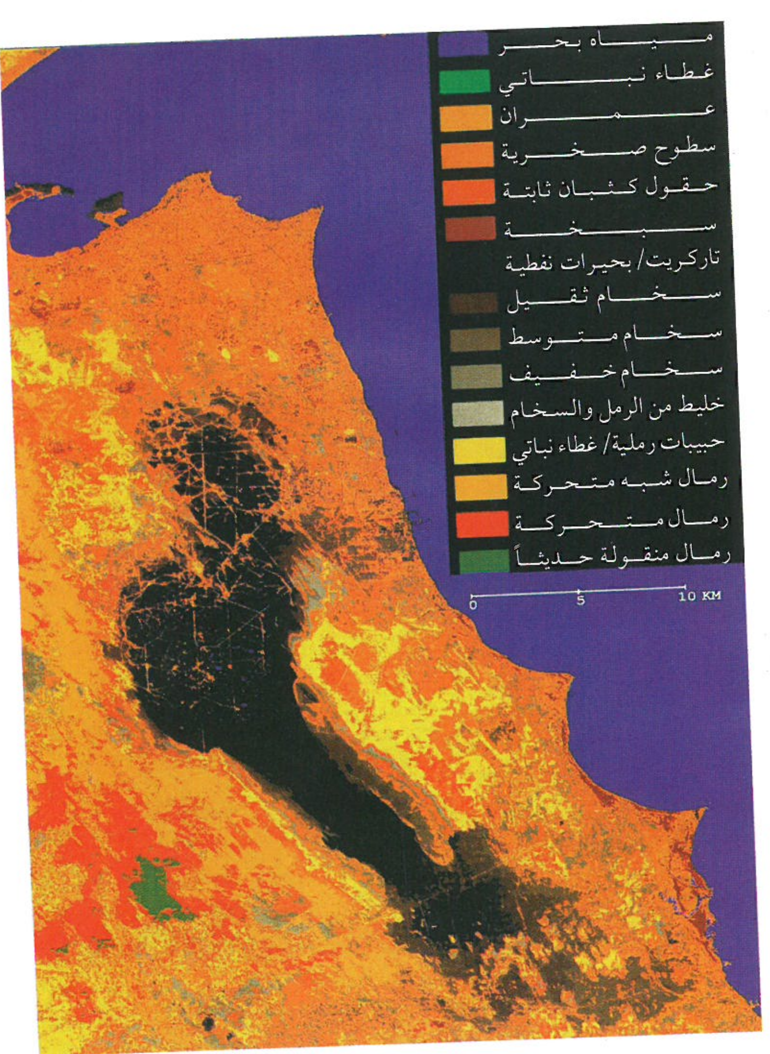
الكويت، تشكل حقل مكون من 22 كثيباً رملياً يبلغ ارتفاع الواحد منها أكثر من مترين خلال 8 شهور. وفي مواقع أخرى إلى الغرب، تشكل العديد من الطبقات الرملية والكثبان الرملية الجديدة بفعل الرياح[74]. وقد عملت هذه الترسبات على تهديد المنشآت المقامة في الصحراء، كما زحفت على الطرقات والمزارع المجاورة.

ثمة تغير جوهري آخر هو تكوين ما يزيد على 230 بحيرة نفطية، وترسب قطرات النفط والسخام الناجم عن دخان حرائق نحو 700 بئر نفطية على سطح الصحراء. ومع اختلاط قطرات النفط مع رمال السطح والحصى، تحولت إلى طبقة أكثر صلابة من مادة "التاركريت" (انظر الشكل 18)، يبلغ سمكها نحو 10 سنتيمترات. وتشكل هذه الطبقة مناطق شاسعة يبلغ عرضها نحو 15 كيلومتراً إلى الجنوب من حقول النفط، ومن المحتمل أن تتسرب العناصر السامة من النفط؛ مثل النيكل والفاناديوم، إلى الطبقات السفلية مع مياه المطر، الأمر الذي قد يؤدي إلى تلوث موارد المياه الجوفية في المستقبل[75].

ويتيح تفسير صور الأقمار الصناعية والخرائط النوعية تقدير مساحات المناطق السطحية المتأثرة بالأنشطة العسكرية المختلفة؛ فقد تضررت مساحة تزيد على 936 كيلومتراً مربعاً من سطح الصحراء نتيجة حركة الآليات العسكرية وتجهيزات الجنود، كما تعرضت مساحة تقرب من 3530 كيلومتراً مربعاً من رصيف الصحراء الطبيعي للدمار بسبب زرع الألغام ثم إزالتها بعد انتهاء الحرب. بالإضافة إلى ذلك، تضررت مساحة تزيد على 978 كيلومتراً مربعاً من السطح نتيجة تشكّل طبقة "تاركريت" وبحيرات النفط. وفي المجموع يمكن القول إن أكثر من 30٪ من أراضي دولة الكويت البرية تدهورت من الناحية البيئية نتيجة للصراع العسكري.

العالم العربي وبحوث الفضاء:
أين نحن منها؟

الشكل (17)



تم تكوين هذه الصورة الكاشفة عن التغيرات عن طريق مقارنة صور لجنوب دولة الكويت التقطها "جهاز الخرائط النوعية" التابع للقمر الصناعي "لاندسات" فيما بين عامي 1990 و1992. وفيها تم تصنيف التغيرات البيئية لسطح الصحراء في خريطة التغيرات حسب مفتاح المصطلحات (أقصى اليمين).

الشكل (18)



صورة التقطها "جهاز الخرائط النوعية" التابع للقمر الصناعي "لاندسات" في 14 تشرين الثاني/ نوفمبر 1991 عقب إطفاء آخر حريق في آبار نفط دولة الكويت. وقد تكونت طبقة "التاركريت" (المنطقة المعتمة) في وسط الصورة بسبب ترسب جزيئات النفط والسخام على سطح الصحراء، والناتجة عن دخان حرائق آبار النفط وانتقالها بواسطة رياح الشمال.

النتائج والتوصيات

في اعتقادي أن العالم العربي سوف يستفيد كثيراً من التطورات الأخيرة في تقنيات التقاط الصور الفضائية؛ للتوصل إلى فهم أفضل لمختلف جوانب طبيعة الصحراء، ومتابعة التغيرات التي تحدث في بيئتها، ويمكن المباشرة في هذا عن طريق تشكيل مجموعة من الباحثين لدراسة قيمة هذه الصور التي يمكن الحصول عليها من الأنظمة المتاحة حالياً؛ والتي تتضمن ما يلي:

1. أنظمة المستشعرات الرقمية؛ مثل "لاندسات" الأمريكي و"سبوت" الفرنسي وسلسلة أقمار (IRS) الهندية، وكذلك الأقمار الصناعية المعدة للأغراض التجارية، والتي ستوفر صوراً بالغة الوضوح في المستقبل.

2. أنظمة التصوير الفوتوجرافية، مثل الكاميرا ذات الإطار الكبير الخاصة بمكوك الفضاء، والنماذج السابقة لها في أقمار التجسس الصناعية "كورونا"، التي التقطت صوراً خلال الفترة 1960-1972، وتم الكشف عنها مؤخراً على أساس أنها لم تعد سرية[76].

3. أنظمة الرادار؛ مثل جهاز التصوير المحمول على المكوك الفضائي الأمريكي (SIR)، والياباني (JERS)، والكندي "رادارسات". ويعد استخدام أنظمة الرادار مفيداً على وجه التحديد في الكشف عن مسارات الأنهار القديمة المدفونة تحت رمال الصحراء، بالإضافة إلى ذلك فإن هذه البيانات مفيدة جداً في كل من التخطيط العسكري التكتيكي والاستراتيجي؛ لأن الرادار يخترق الغيوم ويكشف بوضوح عن الموجات المنعكسة عن الأجسام المعدنية رغم تمويهها.

4. أقمار الأرصاد الجوية؛ مثل أقمار وكالة البحار والجو الوطنية الأمريكية، و"ميتيوسات" الفرنسي، و"قمر الأرصاد الجوية" البرازيلي، ويعتبر الأخير مفيداً تحديداً في الحصول على البيانات من المحطات الآلية للتعرف على الأحوال الجوية والتنبؤ بأنماطها في مناطق واسعة. واستخدام هذا القمر ليس مقتصراً على مراقبة الجو للاستخدامات المدنية فحسب، وإنما في إعداد نماذج الأنماط الجوية والتنبؤ بها لأغراض الملاحة العسكرية أيضاً.

وعند تحقيق فهم كامل لكافة أنواع البيانات المستمدة من الأنظمة المتاحة، تستطيع مجموعة البحث أن تبدأ بالتخطيط لأنشطة التصوير الفضائية. وعاجلاً، قد يتضمن هذا الجهد خطة للاستفادة من موافقة الحكومة الأمريكية مؤخراً على أن تحصل المؤسسات التجارية على صور تصل دقة وضوحها إلى متر واحد. وآجلاً، يتطلب الأمر خطة شاملة لاستخدام التقنيات الحديثة وتقنيات المستقبل في وضع تصميم لنظام التصوير الفضائي "ديزرت سات" وإطلاقه وتشغيله؛ كي يتم تخصيصه لدراسة تضاريس الأراضي الجافة والقاحلة لصالح العالم العربي.

تتوافر الخبرة الضرورية في العالم العربي لتنفيذ الأنشطة المذكورة أعلاه؛ إذ إن فيه متخصصين مدرَّبين تدريباً على مستوى عال في الدول العربية؛ مثل الخبراء في مجال الاستشعار عن بعد، والتقاط الصور وتفسيرها، والاتصالات الرقمية، ورسم الخرائط، والتصوير الجوي، والمسح ووضع نماذج الارتفاعات الرقمية، وكذلك في مجال أنظمة المعلومات الجغرافية، وأنظمة تقنية المعلومات، فهؤلاء الخبراء قادرون على وضع البرامج الضرورية وتنفيذها. ومع نجاح هذه الخطوة الأولية يمكن

التخطيط لبرامج أخرى مفصلة؛ بما في ذلك إطلاق المركبات الفضائية في الدول التي لديها الإرادة للمساهمة بصورة متميّزة في مشروعات استكشاف الفضاء في القرن الحادي والعشرين.

شكر وتقدير

تم تفسير صور الأقمار الصناعية لشرق الصحراء الكبرى من خلال برنامج التعاون الجيولوجي الدولي الذي ترعاه منظمة اليونسكو، وذلك ضمن مشروع 391، والمنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم "أليسكو". أما دراسة المياه الجوفية في إمارة دبي فقد تمت برعاية بلدية دبي. وتمت دراسة التأثيرات البيئية لحرب الخليج في سطح صحراء دولة الكويت برعاية مؤسسة الكويت للتقدم العلمي. ويشكر المحاضر هذه المنظمات الأربع على ما قدمته من دعم في هذا السياق.

الهوامـــش

1. انظر:

Farouk El-Baz, "Origin and evolution of the desert," *Interdisciplinary Science Reviews* vol. 13 (1988): 331-347.

2. انظر:

Farouk El-Baz, "Observing Earth from space," *Aviation Space* vol. 2 (1984): 30-34.

3. انظر:

Farouk El-Baz, "Genesis of the Great Sand Sea, Western Desert of Egypt," Abstracts of Papers, International Association of Sedimentologists. Eleventh International Congress on Sedimentology, McMaster University, Hamilton Ontario, Canada, 1982: 68.

4. انظر:

El-Baz, "Observing Earth from space," op. cit.

5. انظر:

Farouk El-Baz, *Egypt as Seen by Landsat* (Cairo: Dar El-Maaref Press, 1979).

6. فاروق الباز، «القمر الصناعي الإسلامي "إسلام سات"»، مجلة **الفيصل**، العدد 85، 1984، ص 91ـ102.

7. انظر:

El-Baz, "Observing Earth from Space," op. cit.

8. انظر:

Farouk El-Baz, "New mapping-quality photographs of the Earth and their applications to planetary comparisons," *Lunar and Planetary Science* vol. XVI (1985).

9. انظر:

F.J. Doyle, "The next decade of satellite remote sensing," *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* vol. 44, no. 2 (1978): 155-164.

10. فاروق الباز، القمر الصناعي الإسلامي.

11. انظر:

F. El-Baz and R.J. Ondrejka, "Earth orbital photography by the Large Format Camera," Proceedings of the 12th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, MI, vol. 1 (1978): 103-139.

12. انظر:

El-Baz (1985), op. cit.

13. المرجع السابق.

14. انظر:

R.A. Bisson and F. El-Baz, "Megawatershed exploration model," Proceedings of the 23rd International Symposium on Remote Sensing of Environment, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, MI, vol. 1 (1990): 247-273.

15. انظر:

M. Koch and F. El-Baz, "Use of space photographs in deciphering the relationship between fractures and drainage in the Khor Quwab-Ashat area of eastern Sudan," in A. Sadek (ed.) *First International Conference on Geology of the Arab World* (Cairo: Cairo University, 1992), 67-83.

16. انظر:

T.M. Lillesand and R.W. Kiefer, *Remote Sensing and Image Interpretation* (New York: John Wiley & Sons, 1994).

17. المرجع السابق.

18. انظر:

El-Baz, *Egypt As Seen by Landsat*, op. cit.

19. انظر:

R.M. Hord, *Remote Sensing Methods and Applications* (New York: John Wiley & Sons, 1986).

20. انظر:

Lillesand and Kiefer, op. cit.

21. ألقيت هذه المحاضرة في بداية عام 1998.

22. انظر:

Lillesand and Kiefer, op. cit.

23. انظر:

F.F. Sabins, Jr., *Remote Sensing Principles and Interpretation* (San Francisco, CA: W.H. Freeman, 1978).

24. المرجع السابق.

25. انظر:

Lillesand and Kiefer, op. cit.

26. انظر:

D. Elachi et al., "Shuttle imaging radar experiment," *Science* vol. 218 (1982): 996-1003.

27. انظر:

J.F. McCauley et al., "Subsurface valleys and geoarchaeology of the Eastern Sahara revealed by Shuttle radar," *Science* vol. 218 (1982): 1004-1020.

28. انظر:

El-Baz (1985), op. cit.

29. انظر:

E.D. Paylor and M. Baltuck, "Satellites and remote sensing," *Geotimes* vol. 41, no. 2 (1996): 42-43.

30. المرجع السابق.

31. انظر:

Farouk El-Baz, "Remote sensing," *Geotimes* vol. 40, no. 2 (1995): 37-38.

32. المرجع السابق.

33. انظر:

L.W. Fritz, "The era of commercial Earth observation Satellites," *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* vol. LXII, no. 1 (1996): 39-45.

34. انظر:

R.E. Morency, "A conceptual hydrological model for northeast Sinai, Egypt, with application to groundwater exploration using satellite data," unpublished Ph.D thesis, Boston University, Boston, MA 1995.

35. انظر:

Koch and El-Baz, op. cit.

36. المرجع السابق.

37. انظر:

P.A. Burrough, *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment* (New York: Oxford University Press, 1986).

38. انظر:

Morency, op. cit.

39. انظر:

Farouk El-Baz, "Space age archaeology," *Scientific American* vol. 277, no. 2 (1997): 60-65.

40. انظر:

E.D. McKee, C.S. Breed and S.G. Frygerger, "Desert sand seas," in *Skylab Explores the Earth SP*-380 (Washington, DC: NASA, 1977).

41. انظر:

Farouk El-Baz, "Color of desert surface in the Arabian Peninsula," in NASA's *Apollo-Soyuz Test Project, Summary Science Report vol. II* (1979): 285-299.

42. انظر:

Farouk El-Baz, "The meaning of desert color in Earth orbital photographs," *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* vol. 44, no. 1 (1978): 69-75.

العالم العربي وبحوث الفضاء:
أين نحن منها؟

43. انظر:

McKee et al., op. cit.

44. انظر:

W.H. Harris and J.S. Levey (eds) *The New Columbia Encyclopedia* (Columbia, NY: Columbia University Press, 1975), 130.

45. انظر:

United States Geological Survey, "Geological map of the Arabian Peninsula - Scale 1:2,000,000," USGS Miscellaneous Geological Investigations Map I-270 B-2 (1965).

46. انظر:

Harris and Levey, op. cit.

47. انظر:

Farouk El-Baz, "Origin and evolution of the desert," *Interdisciplinary Science Review* vol. 13 (1988): 331-347.

48. انظر:

R.W. Powers et al., "Geology of the Arabian Peninsula - sedimentary geology of Saudi Arabia," US Geological Survey Paper 560-D, 1966.

49. انظر:

Powers et al., op. cit.

50. انظر:

USGS, op. cit.

51. انظر:

C.V. Haynes, Jr., "Great Sand Sea and Selima Sand Sheet: geochronology of desertification," *Science* vol. 217 (1982): 629-633; B.J. Szabo, C.V. Haynes, Jr. And T.A. Maxwell, "Ages of Quarternary Pluvial episodes determined by uranium-series and radiocarbon dating of lacustrine deposits of Eastern Sahara," *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* vol. 113 (1995): 227-242.

52. انظر:

F. Wendorf, A.E. Close and R. Schild, "Recent work on the middle paleolithic of the Eastern Sahara," *African Archaeology Reviews* vol. 5

(1987): 49-63; C.V. Haynes, Jr., "Quaternary Studies, Western Desert, Egypt and Sudan - 1979-1983 field season," *National Geographic Society Research Reports* vol. 16 (1985): 269-341; C.V. Haynes, Jr. et al., "Holocene Paleoecology of the Eastern Sahara: Selima Oasis," *Quaternary Science Reviews* vol. 8 (1989): 109-136.

53. انظر:

Farouk El-Baz, "Origin and evolution of sand seas in the Great Sahara and implications to petroleum and ground water exploration," in *Geology of the Arab World* (Cairo: Cairo University Press, 1992), 3-17.

54. انظر:

Elachi et al., op. cit.

55. انظر:

McCauley et al., op. cit.; Burke and G.L. Wells, "Trans-African drainage system of the Sahara: was it the Nile?" *Geology* vol. 17 (1989): 743-747.

56. انظر:

B.J. Szabo et al., "Uranium-series dates authegenic carbonates and Acheulian sites in southern Egypt," *Science* vol. 243 (1989): 1053-1056.

57. انظر:

Szabo et al. (1995) op. cit.

58. انظر:

L.S. Manent and F. El-Baz, op. cit.

59. انظر:

R.W. Wolfe and F. El-Baz, "Wind patterns in the Western Desert," in F. El-Baz and T.A. Maxwell (eds) *Desert landforms of Southeast Egypt: A Basis for Comparison with Mars* (Washington, DC: NASA, 1982), 119-139.

60. انظر:

El-Baz (1992), op. cit.

61. انظر:

El-Baz (1982), op. cit.

62. انظر:

R.A. Bagnold, *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes* (London: Methuen and Co. Ltd., 1941).

63. انظر:

F. El-Baz, M.H. Slezek and T.A. Maxwell, "Preliminary analysis of color variations of sand deposits in the Western Desert of Egypt," in *Apollo-Soyuz Test Project Summary Science Report SP-412,* vol. II, (Washington, DC: NASA, 1979), 285-299.

64. انظر:

Bisson and El-Baz, op. cit.

65. انظر:

El-Baz (1982), op. cit.

66. جامعة الإمارات العربية المتحدة، الأطلس الوطني لدولة الإمارات العربية المتحدة (العين: 1993).

67. انظر:

F. El-Baz and M. Al-Sarawi, "Kuwait as an alluvial fan of a paleo-river," *Geomorph* (1996): 49-59.

68. انظر:

Haynes (1982) op. cit.

69. انظر:

F. Khalaf, I. Gharib and A.S. Al-Kadi, "Source and genesis of the Pleistocene gravely deposits in northern Kuwait," *Sedimentary Geology* vol. 31 (1982): 101-117.

70. انظر:

I. Gharib et al., "Mineralogical composition of dust fall out in Kuwait," Kuwait Institute for Scientific Research, Technical Report, KISR-1696 (1985).

71 . انظر:

F. Khalaf et al., "Dust fall out in Kuwait," Kuwait Institute for Scientific Research, PPI 108, EES-RF-8016 (1980).

72 . انظر:

A.D. Holm, "Desert geomorphology in the Arabian Peninsula," *Science* vol. 132 (1960): 1369-1379.

73 . انظر:

Farouk El-Baz, "Preliminary observations of environmental damage due to the Gulf War," *Natural Resources Forum* vol. 16, no. 1 (1992): 71-75.

74 . انظر:

H. Al-Dabi, "Evolution of sand dune patterns in space and time in northwestern Kuwait using Landsat images," *Journal of Arid Environments* vol. 36 (1997): 15-24.

75 . انظر:

F. El-Baz and R.M. Makharita, *The Gulf War and the Environment* (Lausanne: Gordon and Breach, 1996).

76 . انظر:

El-Baz (1997), op. cit.

المراجع والمصادر

- جامعة الإمارات العربية المتحدة، **الأطلس الوطني لدولة الإمارات العربية المتحدة**، العين، 1993.

- فاروق الباز، «القمر الصناعي الإسلامي "إسلام سات"»، مجلة **الفيصل**، العدد 85، 1984.

Al-Dabi, H., M. Koch. M. Al-Sarawi and F. El-Baz. "Evolution of sand dune patterns in space and time in northwestern Kuwait using Landsat images." *Journal of Arid Environments* vol. 36 (1997).

Bagnold, R. A. *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes* (London: Methuen and Co. Ltd., 1941).

Bisson, R. A. and F. El-Baz. "Megawatershed exploration model." Proceedings of the 23rd International Symposium on Remote Sensing of Environment, vol. 1. Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, Michigan, 1990.

Burke, K. and G. L.Wells. "Trans-African drainage system of the Sahara: was it the Nile?" *Geology* vol. 17 (1989).

Burrough, P.A. *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment* (New York: Oxford University Press, 1986).

Doyle, F.J. "The next decade of satellite remote sensing." *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* vol. 44, no. 2 (1978).

Elachi, D., W.E. Brown, J.B. Cimino, T. Dixon, D.L. Evans, J.P. Ford, R.S. Saunders, C. Breed, H. Masursky, J.F. McCauley, G. Schaber, L. Dellwig, A. England, H. MacDonald, P. Martin-Kay and F. Sabins. "Shuttle imaging radar experiment." *Science* vol. 218 (1982).

El-Baz, F. "The meaning of desert color in Earth orbital photographs." *Photogrammetric Enginnering and Remote Sensing* vol. 44, no. 1 (1978).

— *Egypt as seen by Landsat* (Cairo: Dar El-Maaref Press, 1979).

— "Color of desert surfaces in the Arabian Peninsula." *Apollo-Soyuz Test Project, Summary Science Report* vol. II (Washington, DC: NASA, 1979).

— "Genesis of the Great Sand Sea, Western Desert of Egypt." Abstracts of Papers, International Association of Sedimentologists. Eleventh International Congress on Sedimentology, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada, 1982.

— "Observing Earth from space." *Aviation Space* vol. 2, no. 1 (1984).

— "New mapping-quality photographs of the Earth and their applications to planetary comparisons." *Lunar and Planetary Science* vol. XVI (1985).

— "Origin and evolution of the desert." *Interdisciplinary Science Reviews* vol. 13 (1988).

— "Origin and evolution of sand seas in the Great Sahara and implications to petroleum and groundwater exploration, vol. II." *Geology of the Arab world* (Cairo: Cairo University Press, 1992).

— "Preliminary observations of environmental damage due to the Gulf War." *Natural Resources Forum* vol. 16, no. 1 (1992).

— "Remote sensing." *Geotimes* vol. 40, vol. 2 (1995).

— "Space age archaeology." *Scientific American* vol. 277, no. 2 (1997).

El-Baz, F. and M. Al-Sarawi. "Kuwait as an alluvial fan of a paleo-river." *Zeifschrift für Geomorphologie N.F., Supplement* 103, 1996.

El-Baz, F. and R.M. Makharita. *The Gulf War and the Environment* (Lausanne: Gordon and Breach, 1996).

El-Baz, F. and R.J. Ondrejka. "Earth orbital photography by the Large Format Camera." Proceedings of the 12th International Symposium on Remote Sensing of Environment. Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, Michigan, 1978.

El-Baz, F., M.H. Slezak and T.A. Maxwell. "Preliminary analysis of color variations ofsand deposits in the Western Desert of Egypt." *Apollo-Soyuz Test*

العالم العربي وبحوث الفضاء:
أين نحن منها؟

Project Summary Science Report SP-412, vol. II (Washington, DC: NASA, 1979).

Fritz, L.W. "The era of commercial Earth observation satellites." *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* vol. LXII, no. 1 (1996).

Gharib, I., M.A. Foda, M. Al-Hashash and F. Marzouk. "Mineralogical composition of dust fall out in Kuwait." Kuwait Institute for Scientific Research, Technical Report KISR-1696 (1985).

Harris, W.H. and J.S. Levey (eds) *The New Columbia Encyclopedia* (Columbia, NY: Columbia University Press, 1975).

Haynes Jr., C.V. "Great Sand Sea and Selima Sand Sheet: Geochronology of desertification." *Science* vol. 217 (1982).

"Quaternary studies, Western Desert, Egypt and Sudan - 1979-1983 field seasons." *National Geographical Society Research Reports* 16 (1985).

Haynes Jr., C.V., C.H. Eyles, L.A. Pavlish, J.C. Rotchie and M. Rybak. "Holocene paleoecology of the Eastern Sahara: Selima Oasis." *Quaternary Science Reviews* vol. 8 (1989).

Holm, A.D. "Desert geomorphology in the Arabian Peninsula." *Science* vol. 132 (1960).

Hord, R.M. *Remote Sensing Methods and Applications* (New York: John Wiley & Sons, 1986).

Khalaf, F., L. Kadib, I. Gharid, and M. Al-Hashash. "Dust fall out in Kuwait." Kuwait Institute for Scientific Research, PPI 108, EES-RF-8016, 1980.

Khalaf, F., I. Gharib and A.S. Al-Kadi. "Source and genesis of the Pleistocene gravely deposits in northern Kuwait." *Sedimentary Geology* vol. 31 (1982).

Koch, M. and F. El-Baz. "Use of space photographs in deciphering the relationship between fractures and drainage in the Khor Quwab-Ashat area of eastern Sudan. Vol. II." In A. Sadek (ed.) *First International Conference on Geology of the Arab World* (Cairo: Cairo University, 1992).

Lillesand, T.M. and R.W. Kiefer. *Remote Sensing and Image Interpertaion* (New York: John Wiley & Sons, 1994).

Manent, L.S. and F. El-Baz. "Effects of topography on dune orientation in the Farafra Region, Western Desert of Egypt, and implication to Mars." Reports of Planetary Geology Program, Technical Memo. 82385. NASA, Washington, DC, 1980.

McCauley, J.F., G.G. Schaber, C.S. Breed, M.J. Grolier, C.V. Haynes Jr., B. Issawi, C. Elachi and R. Blom. "Subsurface valleys and geoarchaeology of the Eastern Sahara revealed by Shuttle radar." *Science* vol. 218 (1982).

Mckee, E.D., C.S. Breed and S.G. Frygerger. "Desert sand Seas." *Skylab Explores the Earth SP-380* (Washington, DC: NASA, 1977).

Morency, R.E. "A conceptual hydrogeological model for northeast Sinai, Egypt, with application to groundwater exploration using satellite data." Unpublished Ph.D Thesis, Boston University, Boston, MA, 1995.

Paylor, E.D. and M. Baltuck. "Satellites and remote sensing." *Geotimes* vol. 41, no. 2 (1996).

Powers, R.W., L.F. Ramirez, C.D. Redmond and E.L. Elberg, Jr. "Geology of the Arabian Peninsula-sedimentary geology of Saudi Arabia." US geological Survey Professional Paper 560-D, 1966.

Sabins, Jr., F.F. *Remote Sensing Principles and Interpretation* (San Francisco, CA: W.H. Freeman, 1978).

Szabo, B.J., W.P. McHugh, G.G. Shaber, C.V. Haynes Jr. and C.S. Breed. "Uranium-series data authigenic carbonates and Acheulian sites in southern Egypt." *Science* vol. 243 (1989).

Szabo, B.J., C.V. Haynes Jr. and T.A. Maxwell. "Ages of Quaternary pluvial episodes determined by uranium-series and radiocarbon dating of lacustrine deposits of Eastern Sahara." *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* vol. 113 (1995).

العالم العربي وبحوث الفضاء:
أين نحن منها؟

United States Geological Survey. "Geological map of the Arabian Peninsula - Scale 1:2,000.000." USGS Miscellaneous Geological Investigations Map I-270 A. 1963.

United States Geological Survey. "Map of the Arabian Peninsula - Scale 1:2,0000,000." USGS Miscellaneous Geological Investigations Map I-270 B-2. 1965.

Wendorf, F., A.E. Close and R. Schild. "Recent Work on the middle paleolithic of the Eastern Sahara." *African Archaeology Reviews* vol. 5 (1987).

Wolfe, R.W. and F. El-Baz. "Wind Patterns in the Western Desert." In F. El-Baz and T.A. Maxwell (eds.) *Desert Landforms of Southeast Egypt: A Basis for Comparison with Mars - NASA CR-3611* (Washington, DC: NASA, 1982).

نبذة عن المحاضر

د. فاروق الباز

أستاذ باحث ومدير مركز الاستشعار عن بعد في جامعة بوسطن. حصل على شهادة البكالوريوس في الكيمياء والجيولوجيا من جامعة عين شمس بالقاهرة بجمهورية مصر العربية عام 1958؛ وحصل على شهادتي الماجستير والدكتوراه في الجيولوجيا من جامعة ميسوري عامي 1961 و1964. ودرّس الجيولوجيا في جامعة أسيوط بمصر في الفترة 1958 ـ 1960، وجامعة هايدلبرج بألمانيا بين عامي 1964 و1966. وفي عام 1989 حصل على شهادة الدكتوراه الفخرية في العلوم من كلية "نيو إنجلند" في هينيكر، نيوهامبشاير.

شارك د. الباز في برنامج "أبولو" خلال الفترة 1967 ـ 1972 كمشرف في إطار "مشروع علوم القمر" في مؤسسة "بيل كوم" التابعة لمختبرات بيل للهواتف في العاصمة الأمريكية واشنطن. وخلال الفترة 1973 ـ 1983 أسس وأدار مركز دراسات الأرض والكواكب في المتحف الوطني الفضائي والجوي بمعهد سميثسونيان في واشنطن. وفي عام 1975 اختارته وكالة الفضاء الأمريكية "ناسا" باحثاً أول للمراقبة الأرضية والتصوير الفوتوجرافي في مشروع تجارب "سيوز-أبولو"، وهي أول مهمة فضائية سوفيتية ـ أمريكية مشتركة. وخلال الفترة 1982 ـ 1986 أصبح نائباً لرئيس مؤسسة "آيتيك أوبتيكال سيستمز" (Itek Optical Systems) لشؤون التنمية الدولية والعلوم والتقنية في ليكسنغتون بماساتشوسيتس.

اشتهر د. فاروق الباز بأعماله الرائدة في تطبيقات التصوير الفضائي لفهم طبيعة الأراضي القاحلة، وخصوصاً تحديد مواقع المياه الجوفية. وتتضمن اهتماماته البحثية الحالية تطبيقات تقنية الاستشعار عن بعد في مجالات دراسة الآثار والجغرافيا والجيولوجيا.